

Arquitectura de los pantanos en España

EDUARD CALLIS

DIRECTOR DE TESIS DOCTORAL
XAVIER MONTEYS

BARCELONA, OCTUBRE 2015

DEPARTAMENT DE PROJECTES ARQUITECTÒNICS
UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA

A la Sílvia, la meva mare i la meva àvia
En record del meu pare
A en Guillem

Índice

5

Introducción

15

Todo en uno

Gaitanejo

31

Cortijos y rascacielos

Alcalá del Río

Jándula

67

Contrafuertes

Estanque de Guadalupe

Presa de contrafuertes de 90 metros de altura

Alcántara II

115

Mundo interior

Salime

163

Pactar con la cerrada

Aldeadávila

203

Modelar el paisaje

Canelles

Ricobayo

239

Revolución de la forma

Susqueda

269

Apilar

Tous I y II

303

Superponer estructuras

Puentes I, II, III y IV

339

Mares de interior

La Almendra

373

Conclusiones

401

Bibliografía

417

Archivos consultados

Agradecimientos



Introducción

España está en el foco de la historia de la construcción de presas. Los españoles combinaron y desarrollaron por sí mismos el concepto romano de almacenamiento de agua y las técnicas musulmanas para su utilización, junto a su reconocimiento de la importancia de una ley de aguas. Y mientras que España llevó estos logros a América, otros países vinieron aquí a aprender y a llevar lo aprendido a otros lugares. España fue la cuna de la construcción de presas moderna.

Norman A. F. Smith¹

Los pantanos en España

El reconocimiento a la aportación de España en el campo de las presas llega en 1970 por partida doble. En aquel momento, cuando el país alcanza las 500 grandes presas² construidas, el historiador Norman Smith publica *The heritage of Spanish Dams* donde reconoce el importante legado español en la materia y el ingeniero José Torán es designado presidente del Comité Internacional de Grandes Presas.

Estas menciones no son casuales. Les precede la década más intensa en construcción de obras hidráulicas, a razón de una media de veintidós presas terminadas anualmente³. La efervescencia de la práctica proyectual tiene una traslación directa en la evolución tipológica y técnica, empujada por la progresiva complejidad de los retos a superar. Empezaba a superarse así la precariedad de posguerra, que si algo de bueno trajo fue el fomento de

1 Smith, Norman A.F. *The Heritage of Spanish Dams*. Reedición del título original editado por el Comité Nacional Español de Grandes Presas, 1970. Madrid: Colegio de Ingenieros, Caminos, Canales y Puertos, 1992, p. 32

2 El Comité Internacional de Grandes Presas define como gran presa aquella que supera los 15m de altura o que con un mínimo de 5m tiene una capacidad de embalse superior a 3 millones de metros cúbicos

3 Berga Casafont (ed.), 2008, p. 22

la audacia y el ingenio como única forma de hacer frente a unas condiciones de completo aislamiento y falta de medios.

Las realizaciones de los años treinta del siglo XX ya ocupaban los primeros puestos mundiales por dimensiones, con una tecnología y puesta en obra equiparables a la de otros países avanzados, entre los cuales existían canales para la transferencia de conocimientos. Al arte de embalsar y desviar las aguas, le precede una historia trufada de episodios dorados, de mayor relevancia si cabe, ante la falta de bases de cálculo racionales y sobretodo de referentes.

El legado de este dilatado empeño en atar las aguas se materializa en mil quinientas treinta y una presas, según el *Inventario de Presas y Embalses* de 2015⁴. España es así el quinto país mundial en número de presas, en un ranking cuyos integrantes comparten la misma latitud. Lo encabeza China, que con 22.456 grandes presas supera la suma de los cinco primeros destacados. Le sigue Estados Unidos con 6.575, India con 4.525 y con una cantidad ligeramente superior a la de nuestro país, las 1.707 de Japón. En este contexto, es importante destacar que España es el segundo país menos extenso y el que cuenta con una población menor.

Más de la mitad de las presas españolas tiene una altura inferior a 30m, una cuarta parte entre 30 y 60m y solo un 3% supera los 100m, siendo la bóveda de **La Almendra** la más alta con 202m. Desde el punto de vista tipológico, el país presenta una singularidad en el bajo porcentaje de las presas de materiales sueltos en relación con la media. Aunque esta diferencia se acorta los últimos años, las presas de materiales sueltos representan poco más de una tercera parte, frente al 60% de las presas de gravedad. El resto se lo reparten las tipologías de contrafuertes, bóveda y presas móviles.

La capacidad de embalse de las presas españolas supera los 63.818hm³ permitiendo regular un 46% de los recursos de agua frente al 9% que correspondería de forma natural. Un centenar de pantanos concentran el 98% de las reservas, entre los que destacan los 3.219hm³ de **La Serena**. El agua embalsada a máxima capacidad, sería suficiente en condiciones ideales atender durante dos años la demanda de todo el país y durante 500 años el consumo de la ciudad de Barcelona.

4 Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015

Las aguas de algunos embalses quedan retenidas por más de una presa, complementando el dique principal o cerrando collados laterales. Esto explica que el número de embalses sea inferior al de las presas, con un total de mil trescientos ochenta y tres. Es difícil no ver ningún pantano sobrevolando el país. De hecho, un mapa de España puede leerse como un tramado de manchas azules, agrupadas con diferentes densidades, pero presentes en todo el territorio. Lo cartografiado, que corresponde a la máxima capacidad, suma una superficie de agua de 3.249km², una extensión equivalente a la provincia de Álava.

Son diversos los usos que atienden las presas, pero tres cuartas partes de las instalaciones está planteada en respuesta a un único requerimiento. El agua almacenada se destina principalmente a la agricultura, lo que ha permitido la puesta en regadío de 27.000km² de cultivos, que representa un 80% de la superficie regada. El 15% satisface el consumo doméstico para el abastecimiento de 30 millones de habitantes, el 70% de la población, y el 5% restante a usos industriales. Las centrales hidroeléctricas españolas tienen una potencia instalada de 18.319MW, y aportan un 15% de la energía consumida.

Desde el punto de vista orográfico, podemos definir la península como una meseta central elevada rodeada por frentes montañosos en tres de sus caras: la cordillera Cantábrica, el sistema Ibérico y Sierra Morena. Formando un bis a bis con este núcleo, como las aspas de un molino, se dispone la depresión del Ebro entre los Pirineos y el sistema Ibérico y la depresión del Guadalquivir entre Sierra Morena y el sistema Penibético. La mitad de este marco físico está ocupado por formaciones montañosas, lo que sumado al elevado nivel de la meseta da lugar a una altitud media de 660m, solo superada en Europa por Austria y Suiza.

Fruto de esta fisiografía, la divisoria de aguas peninsular queda claramente descentrada hacia el este, dibujándose ríos más largos y caudalosos en la vertiente atlántica. A excepción del Ebro, los cauces son cortos en el levante y muy cortos en las costas del mar Cantábrico y mediterránea andaluza. Tanto la altitud de la meseta como la proximidad de las cordilleras al mar configuran unos ríos de trazado escalonado; son cursos que no resuelven todo el desnivel en su tramo inicial sino que deben superar sucesivos portillos hasta cerca de la desembocadura.

Los frentes atlánticos retenidos en la cordillera Cantábrica dan lugar a una zona norte con precipitaciones abundantes y regulares, detrás de la cual se extiende una meseta de clima continental y lluvias escasas. El arco mediterráneo presenta un clima más moderado, aunque igualmente seco; una sequía que se agudiza en la parte sur. Donde menos llueve, lo hace además de forma completamente irregular, concentrado en unos pocos días de intensos chubascos entre largos períodos de sequía. A la divisoria geográfica norte-sur descentrada a oriente, se le superpone una partición pluviométrica este-oeste, extremadamente desplazada hacia el norte.

Confluyen en España unas condiciones hidrográficas depauperantes con un sistema orográfico y geológico que ofrece un sinfín de portillos de gran calidad. Por decirlo de otro modo, coexiste en el mismo territorio una dificultad de acomodo con una herramienta para resolverla. En este sentido, no es de extrañar que hasta los años treinta del siglo XX, predominasen las obras hidráulicas destinadas al regadío especialmente en la vertiente mediterránea. Es a partir de los cincuenta que la construcción de presas toma relevancia en la vertiente atlántica, fuertemente impulsada por la industria hidroeléctrica. Los ríos caudalosos y constantes del norte serán óptimos para la explotación eléctrica, a los que se sumaran los tramos finales del Duero y el Tago, aparte de los sistemas del Pirineo.

Las presas romanas para el abastecimiento urbano, el sofisticado sistema musulmán de regadío ampliado con las espléndidas presas levantinas de los siglos XVI y XVII, las antiguas presas extremeñas de contrafuertes desarrolladas a lo largo de los siglos XV y XVIII o las atrevidas propuestas del reinado de Carlos III, escriben capítulos esplendorosos en el arduo trabajo para la domesticación del agua. Las políticas regeneracionistas de finales del siglo XIX dotaran de un enfoque global a este reto, imaginando un sistema en red para equilibrar el déficit hídrico. Esto conducirá a ambiciosos planes de regadío, acompañados de programas de financiación y de la instauración de un órgano de gobierno de la unidad fluvial: la confederación hidrográfica. En definitiva, es la extensión y tecnificación de un modelo de administración practicado por las comunidades de regantes. La industria hidroeléctrica supondrá la superposición de otra estructura de gestión, que también leerá la hidrografía como una compleja red de conexiones.

Domesticar el agua ha sido la principal tarea de los pobladores de la península a lo largo de milenios, a pesar de que la reputación recaiga en quien más propaganda haga. El reconocimiento de Norman Smith no solo subyace en episodios puntuales, sino en una cultura del agua basada en la sedimentación de conocimientos e intervenciones. Son períodos que podemos leer en conjunto, motivados por un mismo afán, aunque a veces presentan inexplicables desconexiones. Pocos aspectos como la domesticación del agua, tienden un cauce continuo capaz de explicar la historia de España; es la historia de la apropiación de un lugar, de cómo hacer amable un hábitat, en la que cada cultura, dinastía o gobierno da su enfoque particular.

Arquitectura de los pantanos

Ante la progresiva especialización profesional, las presas por su escala y complejidad han quedado reservadas exclusivamente al ejercicio del ingeniero, frente a la aproximación que se pueda dar desde otras disciplinas a obras civiles como carreteras, puentes o puertos. La presa requiere una preparación específica altamente cualificada porque no tolera matices en el éxito del resultado. Los cambios que induce en el emplazamiento son tan grandes que cualquier descuido puede resolverse en una catástrofe, o como mínimo en el abandono de una inversión descomunal o costosas obras de reparación. La relación con la cerrada y con el río, ata irremediamente la presa al emplazamiento, pero su verdadero alcance se mide en la huella del agua y la energía distribuida sobre el territorio.

La presa responde a una idea sencilla, llevada a cabo mediante la resolución de un problema de construcción a gran escala. Puede leerse el proyecto como un encadenamiento de decisiones estratégicas con el objetivo de conseguir el máximo almacenamiento con el mínimo esfuerzo y la mayor seguridad. Son infraestructuras que despiertan el asombro y el interés de cualquier persona curiosa y también de los arquitectos. Así lo reflejan las referencias en guías de arquitectura y catálogos de protección, aunque se trate de aproximaciones tangenciales y tímidas.

Una mirada exterior, desde el campo del arte, complementa estas visiones arrojando luz en los aspectos estéticos y en el potencial catalizador de las presas. Desde la fascinación de las

vanguardias de principios de siglo XX por la gran infraestructura como iconografía de la transformación social, hasta las reflexiones sobre la idiosincrasia del proceso de Robert Smithson. Ante la crisis del petróleo y el fin de la dictadura en nuestro país, las propuestas ahondan especialmente en el legado de la política hidráulica, abarcando múltiples formatos desde la instalación artística, la fotografía, la literatura, el teatro o el cine documental. No contemplan el embalse como un mar destellante sino que se sumergen metafóricamente en el agua. El marco de reflexión pasa de la obra a sus repercusiones, como la superposición de estratos en el territorio o la relación de la ingeniería con el poder.

José Torán había manifestado, en más de una ocasión, la perplejidad y preocupación ante la inexistencia de una literatura acorde con el desarrollo del estado del arte de las presas en España⁵. Como recuerda Smith, los primeros en estudiar el legado de las presas españolas fueron personas extranjeras con el fin de informar a los gobernantes de sus respectivos países. Evidentemente las cosas han cambiado desde las preocupaciones de Torán; la literatura en este campo es importante. Predominan en ella dos tipos de aproximaciones, una con enfoque técnico y de cálculo escrita por proyectistas y destinada al mismo público y otra de carácter histórico con enfoque socioeconómico desde la mirada de autores ajenos a la construcción.

Son quizá las aportaciones de Eduardo Torroja, Carlos Fernández Casado y José Antonio Fernández Ordóñez las que abren la puerta a una reflexión más amplia sobre la tarea del ingeniero, sobre la *razón de ser* de sus construcciones, sobre la relación que establecen con la naturaleza, el arte y la técnica. Es también una vía interesada en el estudio en profundidad de obras históricas como fuente de conocimiento y paso previo a su revalorización.

Esta otra forma de mirar las grandes infraestructuras, centrada en obras coetáneas, llega al gran público a través de exposiciones como *Twentieth Century Engineering*, celebrada en el MoMA en 1964. Una muestra que posteriormente visitará varias ciudades españolas acompañada de un apéndice de realizaciones nacionales⁶. En este sentido, es quizá más elocuente el título de la

5 Torán Peláez, 1964, p. XVI

6 Castro Cardús, 1970, p. 579

exposición celebrada en el Centro Georges Pompidou en 1978, *Architecture d'ingénieurs aux XIX^e et XX^e siècles*.

La arquitectura del ingeniero es una expresión que acuña Carlos Fernández Casado, a través de la cual determina una identidad diferenciada para la obra del ingeniero, sin que por ello quede excluida del paraguas de la arquitectura. Evidentemente la arquitectura se extiende más allá de las realizaciones del arquitecto, abarcando todo tipo de obras de carácter popular.

La palabra *arquitectura* designa también la estructura de ideas que hay detrás de un proyecto, del mismo modo que nos referimos a la trama de una novela o denominamos arquitecto al ideólogo o estrategia de un partido político. Es la forma de organizar los elementos disponibles y pactar unas reglas de juego en aras de la introducción de un cambio, como conocen bien en el campo de la arquitectura de computadores. Ni que sea el más complejo trabajo de ingeniería, un mismo reto admite siempre distintos enfoques, con lo que las ideas y la forma de estructurarlas devienen imprescindibles para el guiado en el proceso de diseño y también para la evolución de la técnica. Seguramente es por este motivo que España fue la cuna de las presas modernas.

Arquitectura de los pantanos en España

Mirar los pantanos españoles desde la arquitectura, en un sentido amplio, alumbra sus principales atributos y su razón de ser. Dota al análisis de las herramientas necesarias para abordar cuestiones de forma y estructura, de técnica y materialidad, de organización e implantación, de paisaje y territorio. Unos aspectos respaldados por el estudio de la cadena de decisiones estratégicas que hace posible cada presa que también incorpora el proceso de diseño y de su papel en la evolución tipológica.

La presa es estudiada como una construcción directamente vinculada al emplazamiento, al desarrollo de la técnica y a los medios disponibles; pero también, desde un enfoque más amplio, como la plasmación de un posicionamiento ideológico del proyectista y la sociedad en relación con la naturaleza y el territorio.

La arquitectura cataliza una mirada que interpela directamente al proyecto, a la obra y a las ideas que en ella subyacen. Es una vía de aproximación diferente a la visión estrictamente técnica del manual, la contextual subyacente en la investigación

histórica o la interrogación que comporta la intervención artística. Sin embargo traza entre todas ellas un mapa de relaciones, acercando visiones a priori alejadas sobre una misma cuestión.

La delimitación geográfica tiene sentido en la medida que la construcción y tipología de presas está intrínsecamente vinculada a unos condicionantes fisiográficos y climáticos determinados, a la aportación sobre un mismo tema y territorio de distintas culturas, a un colectivo profesional reducido, a unos programas de actuación y financiación de ámbito estatal y en la estrecha vinculación de la obra hidráulica con la organización del territorio y consecuentemente con el poder. Todos estos aspectos dibujan los confines identificables de una forma de abordar la domesticación del agua, que a pesar de los intercambios de conocimiento, presentan diferencias sustanciales con el panorama de países limítrofes.

Esta es una lectura cruzada entre diez aspectos esenciales de la arquitectura de los pantanos y dieciocho presas representativas. La selección de ejemplos permite profundizar en su estudio según el enfoque del tema que mejor ilustran, convenientemente referenciado con otras piezas de interés. Es un planteamiento, por lo tanto, alejado del catálogo pero también del manual.

En la elección de los ejemplos ha primado el interés en relación con el tema que se desarrolla. Por este motivo, el conjunto de presas estudiadas no responde de forma proporcional al reparto entre diferentes tipologías, cuencas hidrográficas, promotores, ni épocas de construcción. Tampoco puede afirmarse que las presas seleccionadas sean las mejores, pero sí las más apropiadas para el estudio del tema con las que se las relaciona. Algunas obras cuentan con reconocimiento, protección y monografías de diversa índole. Sin embargo, otros casos constituyen ejemplos raros que, a pesar de su interés, no han logrado trascender el ámbito especializado. Entre los pantanos estudiados figura, además, un proyecto no construido, dos presas fuera de servicio y tres que ya no existen.

Algunos casos se abordan con el análisis de más de un ejemplo, usando la comparación como método para alumbrar la relevancia de algunas aportaciones o ausencias. De hecho, las herramientas de análisis se determinan en función de la presa y el tema a estudiar, huyendo de una mirada constante y sistemática.

Todo en uno introduce al lector en las partes que componen una presa y en su terminología específica. Este capítulo indaga en la organización y relaciones entre dichos elementos, según una evolución hacia la integración. El análisis de este proceso concluye en *Cortijos y rascacielos*, que radica sobretodo en el papel de la presa como iconografía de la energía y la modernidad y a la vez que reflejo de la relación entre el hombre y la naturaleza.

Contrafuertes, Revolución de la forma y Apilar se centran en las características intrínsecas de las tipologías de contrafuertes, bóveda y materiales sueltos, a través de casos paradigmáticos en la relación entre las decisiones proyectuales y las formas adoptadas. Los tipos de gravedad, arco-gravedad y presa-móvil son tratadas en otros capítulos como soporte del contenido principal.

Mundo interior propone una doble lectura, por un lado del proceso de preparación de la obra y posterior construcción, especialmente complejo en un lugar remoto y aislado y del otro, del conjunto de espacios interiores como culminación de un complejo recorrido de acceso.

La estrategia en la toma de decisiones a lo largo de todos los eslabones del proceso de proyecto es explorado en *Pactar con la cerrada*. Es un tema que de alguna forma subyace en todos los capítulos, pero aquí se profundiza en dos aspectos cruciales: la elección de la cerrada y la armonización de la presa con el emplazamiento. La reparación de la obra construida para alcanzar el anhelado equilibrio con el entorno, en *Modelar el paisaje*, invita a la comprensión de la presa como algo que termina más allá de los límites del paramento, a la vez que explora las analogías entre la manipulación de la cerrada y el proceso de diseño en modelo reducido.

La construcción de cuatro presas en distintas épocas sobre una misma cerrada en *Superponer estructuras*, recalca en el valor estratégico del emplazamiento, la intervención sobre la obra histórica y el error como impulso en el diseño y la formación.

Concluye *Mares de interior*, que a través de un ensanchamiento progresivo del campo de atención, aborda la capacidad de transformación de los embalses desde el punto de vista paisajístico, territorial, social y económico.

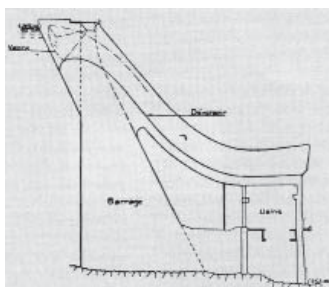


Todo en uno

Gaitanejo

El ingeniero francés André Coyne (1891-1960) popularizó en los años cuarenta una nueva tipología de presa según la disposición de sus partes. Su aportación se basa en conjuntos compactos que incorporan la central eléctrica junto al pie de presa y bajo el aliviadero. Con el aumento progresivo de la altura de las presas desde principios de siglo se requería ubicar las centrales cerca del pie para obtener la mayor altura de salto con la menor longitud de tuberías; para optimizar las nuevas turbinas era necesario conducir caudales más elevados y a más presión. Ya era una práctica común acercar la central al pie de presa aunque no se tratasen como un mismo elemento y no se concibiesen con un mismo proceso proyectual. Se trataba de la yuxtaposición de una presa y una casa, de una obra de “ingeniería” y una de “arquitectura”, sin que nada cambiara por la acción de acercar dos elementos habitualmente separados. Mientras tanto el aliviadero se mantenía alejado para proteger al edificio que alberga la central de producción. Normalmente vertía desde uno de los estribos a través de túnel o canal.

Sin embargo la obra de André Coyne agrupa las tres partes de características formales y funcionales diferentes en una nueva unidad compositiva, un proyecto conjunto. En sus presas



Sección de la presa de l'Aigle construida por André Coine el 1999. El corte muestra las tres partes básicas: presa, central hidroeléctrica y aliviadero.

Central hidroeléctrica de l'Aigle con los grandes ventanales orientados aguas abajo.

La misma presa en vertido libre.

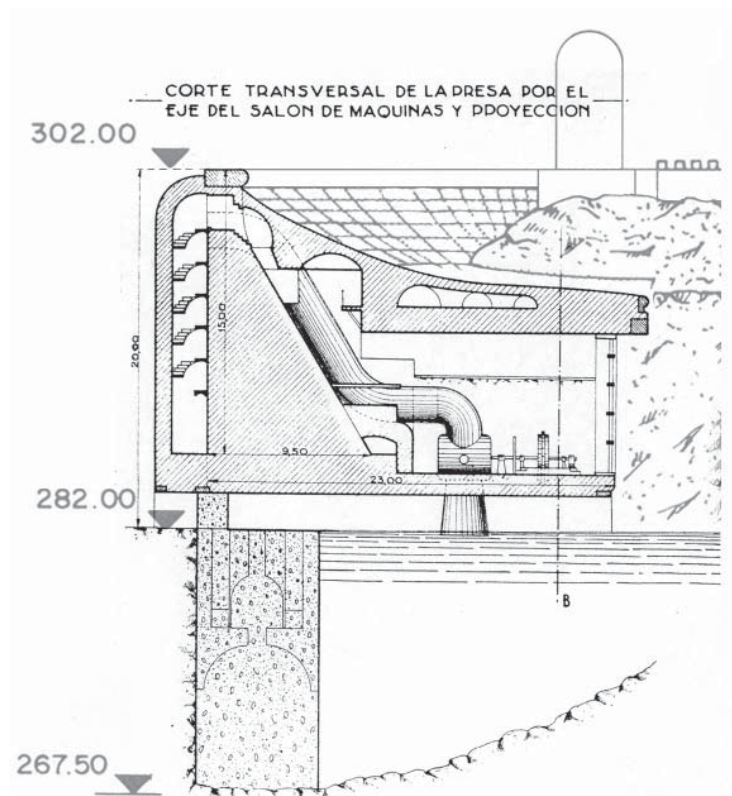
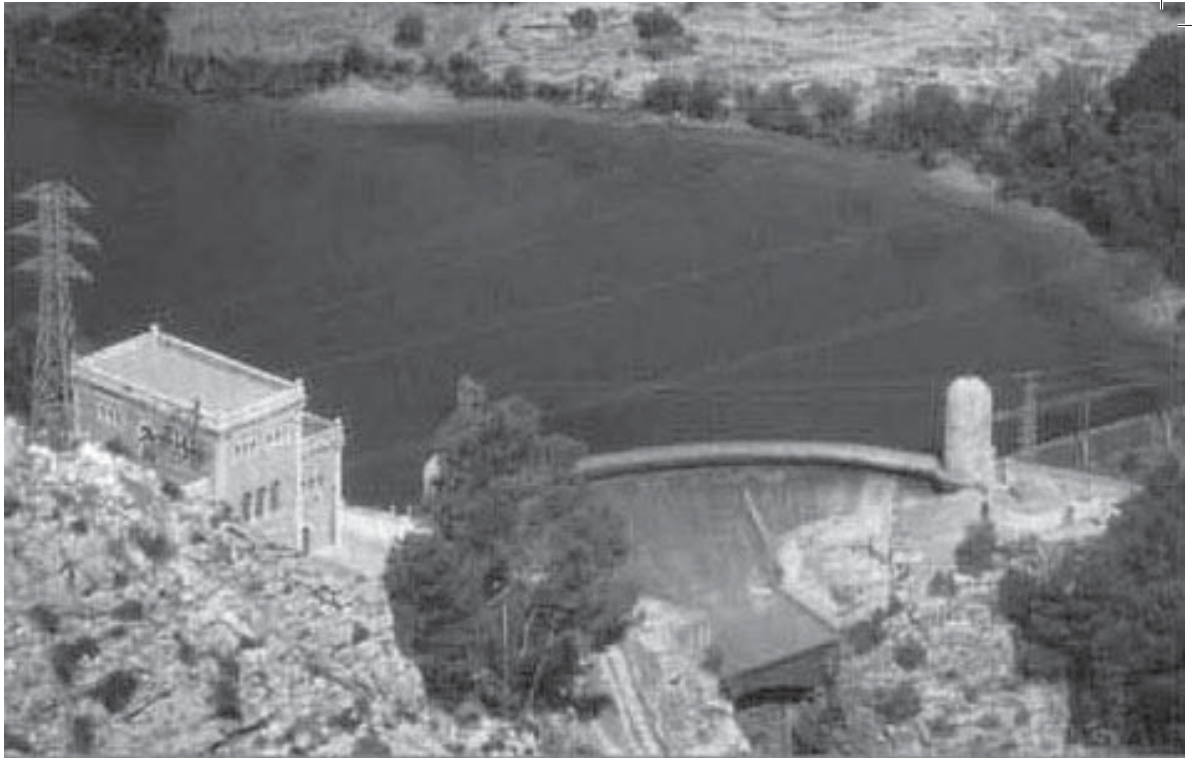
los aliviaderos, normalmente en trampolín se apoyan sobre el cuerpo de la central, que a su vez se pega a la presa cerca de su pie. La estructura de ambas partes está relacionada, como también lo están los métodos constructivos y los materiales empleados. Como si se tratase de un típico cuchillo suizo, cada parte se engarza con las otras formando una unidad superior. Así se mantienen los requerimientos de máxima altura y mínimo recorrido entre toma de agua y turbina, pero además se reducen los costes y terminios de construcción del aliviadero. *Saint-Étienne Cantalès* (1940-1945), *L'Aigle* (1941-1946), *Bort-les-Orgues* (1942-1952) y *Chastang* (1947-1952) son las presas más destacables de este autor.

Aunque de dimensiones más reducidas y menor difusión, en España ya se habían construido con anterioridad dos presas con esta peculiar organización: situando la central a pie de presa y encima el vertedero. Se trata del Salto del Jándula construido entre 1927 y 1930 para regular el caudal en la cabecera de la cuenca del Guadalquivir y conseguir su navegabilidad. Es obra de Carlos Mendoza con la colaboración de los ingenieros Antonio del Águila y José Moreno Torres, y del arquitecto Casto Fernández-Shaw, en cuyo diseño final se integran todos los elementos con unas superficies onduladas que hacen a su vez de aliviadero por la cara superior y de protección del cuerpo de presa y cubierta de la sala de máquinas por la inferior.

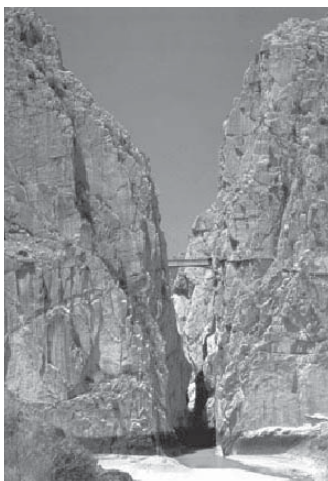
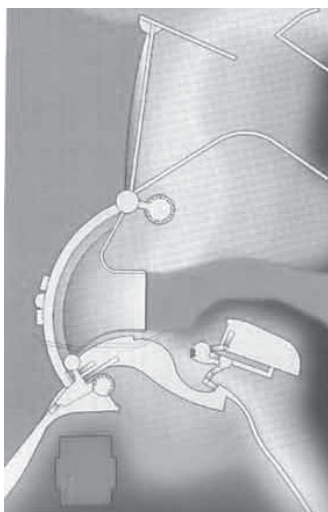
Tenemos que retroceder unos años para encontrar el ejemplo pionero, como mínimo en España, con esta peculiar disposición. Se trata de la pequeña presa de Gaitanejo proyectada en 1920 y construida en 1927 por Rafael Benjumea, Conde de Guadalhorce (1876-1952), obra precursora de las presas vertedero con central interna de André Coyne con las que hemos empezado el artículo.

La presa y central de Gaitanejo se construyó para la Sociedad Hidroeléctrica del Chorro¹, como contraembalse de la presa del Chorro, actualmente presa Conde de Guadalhorce (1921), ubicadas en el río Turón, afluente del Guadalhorce, en la provincia de Málaga. Esta presa sustituye un azud unos 100m aguas abajo construido para aprovechar el desnivel entre la entrada y la salida del Tajo de los Gaitanes. Se transporta el agua con un

¹ Fundada en 1903 por Jorge Loring, Francisco Silvela y el ingeniero Rafael Benjumea como director gerente. El ingeniero consultor será Leopoldo Werner. La empresa se basa en la concesión de un salto de agua en el Tajo de los Gaitanes en manos de Loring.



Sección y vista de la presa de Gaitanejo, 1920-1927. Obra de Rafael de Benjumea, Conde de Guadalhorce.



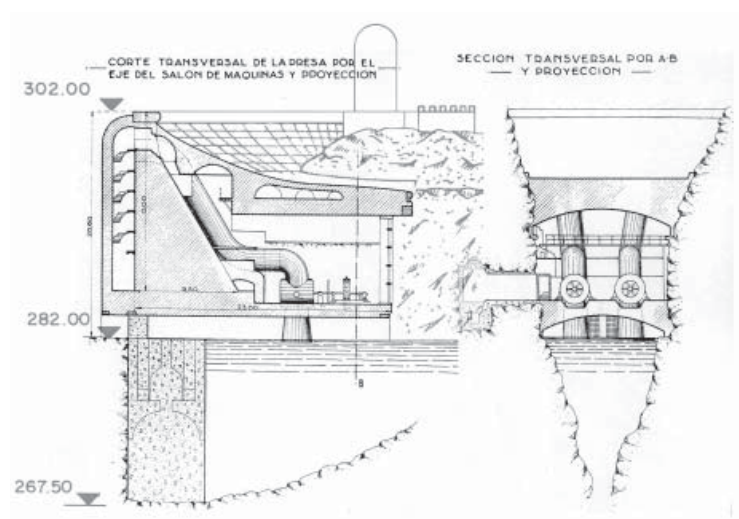
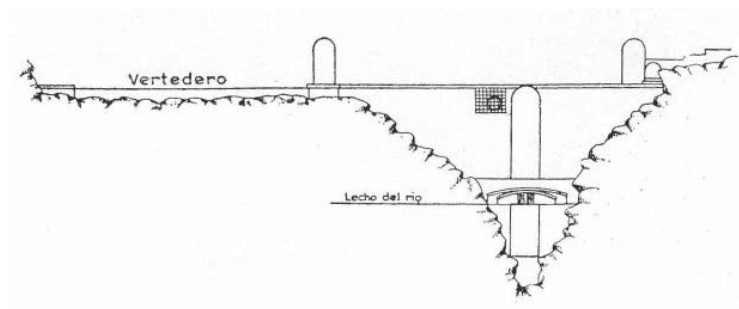
canal de cuatro kilómetros que atraviesa el tajo por el margen izquierdo mediante un acueducto colgado hasta llegar a la central hidroeléctrica del Chorro. El camino de servicio de este acueducto circula paralelo a él y colgado de la peña; se conoce popularmente como “Caminito del Rey” desde la visita que realizó el monarca Alfonso XII para la inauguración de la presa del Chorro. La finalidad de esta empresa era la de producir energía eléctrica además de mejorar el regadío tradicional en el valle inferior del Guadalhorce, Málaga².

Actualmente la presa, en manos de Endesa Sevillana, está prácticamente aterrada y solo se utiliza como derivación hacia la central de Nuevo Chorro, a través del mismo canal pero con una tubería forzada insertada en éste.

La presa se sitúa en una pequeña cerrada en forma de embudo, midiendo el cañón inferior solo 15m de ancho. Estas reducidas dimensiones fueron el motivo para condensar todas las partes en un solo cuerpo, aunque existe un aliviadero auxiliar de libre vertido en una prolongación del estribo izquierdo. La presa propiamente tiene dos partes, una de inferior en bóveda y una de superior de gravedad. La parte inferior es una bóveda de eje vertical ligeramente rebajada. Se empotra en el fondo y las laderas de la cerrada. Su cota superior coincide con la cota de aguas normales del río. La parte superior es de gravedad, ligeramente curvada, apoyando sus estribos en los brazos del embudo que forma la cerrada, con un total de 45m de coronación y 20m de altura. La anchura de la base en el tramo central es de 9,5m.

La central se sitúa entre dos bóvedas de eje horizontal empostradas en las laderas de la parte en cañón. La bóveda inferior de 15x45m recibe en el extremo aguas arriba los esfuerzos del tramo central de la presa de gravedad transmitiéndolos a las laderas, de tal forma que la presa bóveda inferior no reciba ninguna otra carga. La bóveda superior de 15x16m se complementa de otra bóveda de transición entre la forma curvilínea en planta de la presa y el corte recto de la cubierta de la sala de máquinas, para establecer una superficie troncocónica que se convierte en

² La hidroeléctrica del Chorro se acogió a la Ley del 7 de julio de 1911 de Construcción de Obras Hidráulicas con destino a riegos. La ley facilitaba una concesión y subvención del Estado siempre que se solicitase desde una comunidad de regantes o un sindicato agrícola. La mejora del regadío solo llegó a la mitad del área prevista (10.500ha).



tobogán. Se avanza 1,75m respecto la bóveda inferior para permitir el libre vertido sin perjudicar el resto de las instalaciones. Todos los elementos se construyen en hormigón armado excepto los labios de las bóvedas que se rematan con arcos de piedra dovelada, y el labio del vertedero con unas piezas semicilíndricas horizontales con la función de goterón.

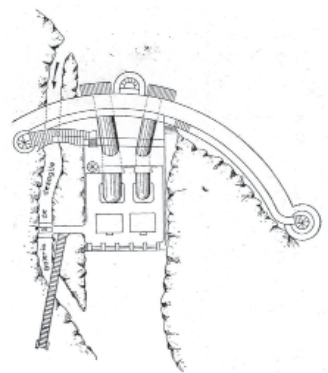
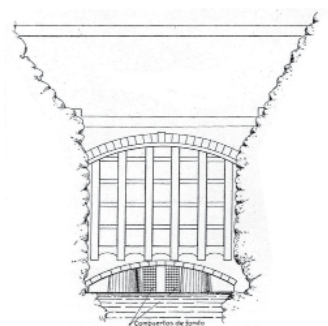
Es importante constatar los dos grupos funcionales independientes en que se reúnen estas estructuras. Hay una parte superior o superestructura que se compone de la presa de gravedad y las dos bóvedas horizontales y una parte inferior o infraestructura que se compone de la presa bóveda vertical y el muro de cierre del intradós de la bóveda que soporta la presa de gravedad. En este muro se ubican los desagües de fondo. Así, la superestructura transmite todas las cargas directamente a la cerrada no recibiendo

Desfiladero del Tajo de los Gaitanes visto desde aguas abajo.

Caminito de servicio del acueducto que parte de la presa de Gaitanejo hasta la central hidroeléctrica del Chorro por el Tajo de los Gaitanes, popularmente conocido como "Caminito del Rey"

Emplazamiento de la presa de Gaitanejo

Sección transversal, sección longitudinal i alzado desde aguas arriba de la presa de Gaitanejo.



Planta y alzado desde aguas abajo

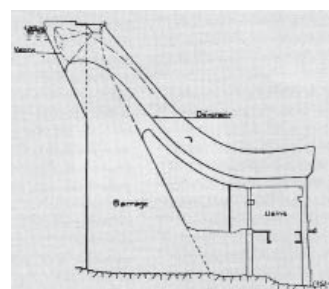
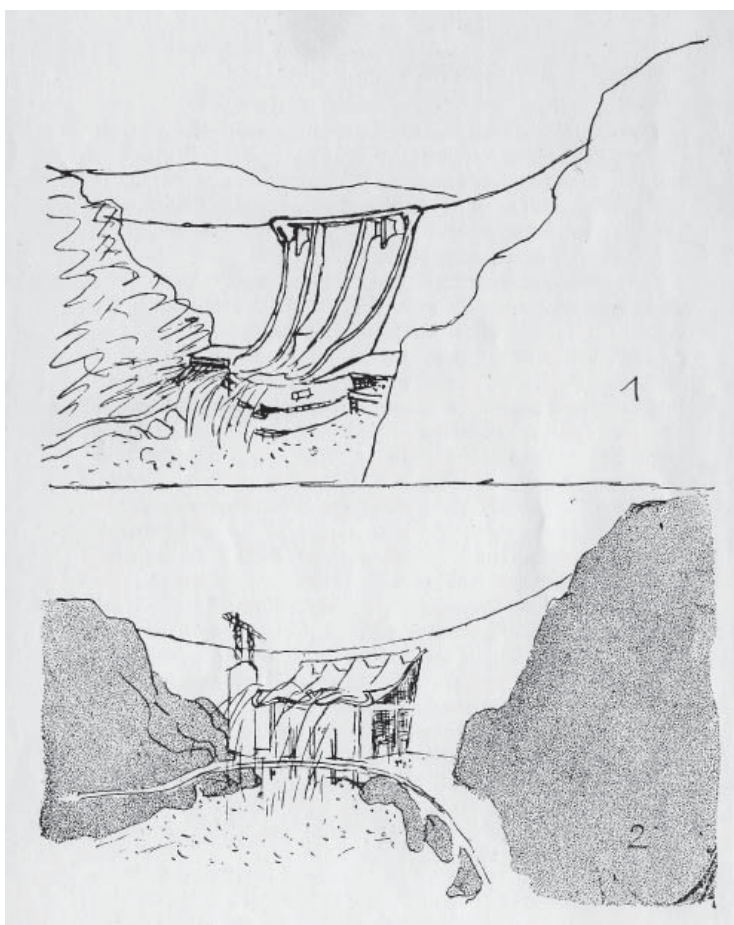
ninguna la parte inferior. Esta división radical permitió la construcción simultánea de ambas partes al no necesitar la una el apoyo de la otra. También facilitó la construcción de los desagües de fondo ya que solo tienen que cruzar un muro de menos de 2m de grosor. Por último, supuso un ahorro importante de material al evitar extender el grosor de la presa de gravedad en su base hasta el fondo de la cerrada.

Esta peculiar estructura fue posible por las reducidas dimensiones de la cerrada. La parte que ocupan las dos bóvedas sobrepuestas mide unos 15x23m. Se trata de una medida de lo más común en edificios. En las presas de André Coyne los aliviaderos son trampolines sobre la base de la central. Aquí, en cambio, a la estrechez de la cerrada el aliviadero es continuo de ladera a ladera. Esto permite que el frente de la sala aguas abajo pueda ser totalmente acristalada, no habiendo de soportar ninguna carga. Podríamos considerar que el Gaitanejo tiene fachada, como si se tratase de un edificio. Unas dos terceras partes del alzado aguas abajo corresponden al emparrillado entre bóvedas ligeramente separado del caudal fluvial y el resto al vertedero-cubierta.

Habitualmente el espacio interior en las presas se limita a la existencia de galerías de registro en varios niveles y siguiendo el perímetro de la cerrada. Con la incorporación de la central en el cuerpo de la presa el conjunto fagocita un espacio interior, que además en este caso dispone de iluminación natural. En la presa del Jándula la sala asoma discretamente al exterior “camuflándose” bajo la superficie ondulada del paramento.

Cabe destacar que el conjunto de la presa y central de Gaitanejo integra varias partes y alberga espacio interior manteniendo una imagen unitaria. Se ha acabado la dispersión de elementos edificados a escalas y lenguajes diferentes, muchas veces obra de técnicos distintos trabajando por separado.

Esta unidad de conjunto es lo que percibe Le Corbusier al conocer dos de las presas construidas por el ingeniero André Coyne, mencionado anteriormente. De esta nueva unidad salen unas formas fluidas fruto del estudio del trazado del agua. En sus *carnets* no faltan las perspectivas desde aguas abajo de *Chastang* y de *l'Aigle* con los aliviaderos vertiendo. En el caso de *l'Aigle* aporta también una sección cortando las tres partes integrantes: cuerpo de la presa, vertedero y central. De hecho utiliza esos



dibujos para proyectar la gárgola en la cubierta de la capilla de *Nôtre-Dame-du-Haut* en Ronchamp (1950-55).

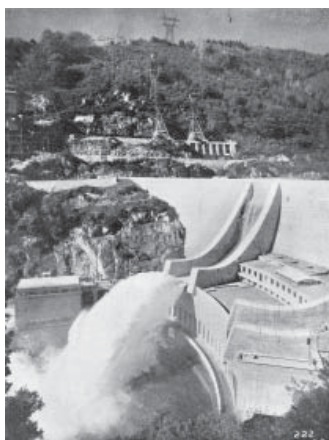
Una de las pocas premisas que le pidió la comisión para la reconstrucción del templo, encabezada por el padre Alain Couturier, fue la necesidad de aprovechar el agua de lluvia para las dependencias de los peregrinos, ya que por su disposición la zona carecía de pozo y suministro. La cubierta y en concreto la conducción del agua de forma explícita tomaron un papel importante, como iba sucediendo en las obras de después de la guerra. En los *carnets* aparecen varias láminas dedicadas al estudio de la evacuación del agua, en concreto a unos primeros detalles de la gárgola y el pozo. El perfil longitudinal de dicha gárgola es similar a la de los trampolines de *l'Aigle*, y su sección transversal donde convierte un canal único en

Sección de la presa de *l'Aigle* aparecida en

Croquis de la capilla de Ronchamp con la gárgola en primer término.

Estudio para la gárgola de Ronchamp.

Croquis de Le Corbusier de las presas de *l'Aigle* y Chastang en vertido libre.



dos, a los de *Chastang*. Los primeros bocetos se perciben como una transposición directa de la figura de dichos trampolines. La gárgola padece un exceso de formalización que la desliga del conjunto de la cubierta, casi sin definir. El desarrollo del proyecto tiende a sintetizar toda la cubierta como un gran aliviadero de sección curvilínea y sin aristas en la que la gárgola es solo el apéndice final responsable de focalizar el flujo hasta el pozo. André Coyne fue consultado por Le Corbusier acerca de la bondad de una solución similar en el Capitolio de Chandigarh. El ingeniero respondió que se requería un caudal mucho más elevado para que el agua efectuara la trayectoria deseada³.

En Ronchamp seguramente permanece algún gen de la obra de André Coyne. Uno de los iconos de la arquitectura de Le Corbusier y del siglo XX busca en las presas el modo y la figura de evacuar el agua. Es un salto breve en el tiempo que no supera los diez años, pero que continuará presente en la obra del arquitecto hasta el final de su carrera. Si consideramos que Gaitanejo fue pionera en integrar central a pie de presa bajo aliviadero, y por lo tanto precursora de *Chastang*, cuya influencia fue decisiva para Ronchamp, ¿podemos establecer alguna relación entre Gaitanejo y Ronchamp? ¿Que aspectos de la capilla nos pueden ayudar a comprender mejor Gaitanejo?

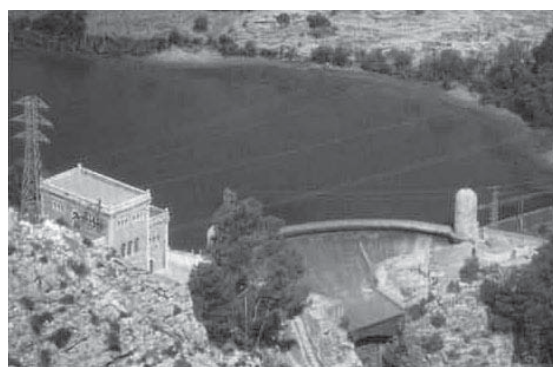
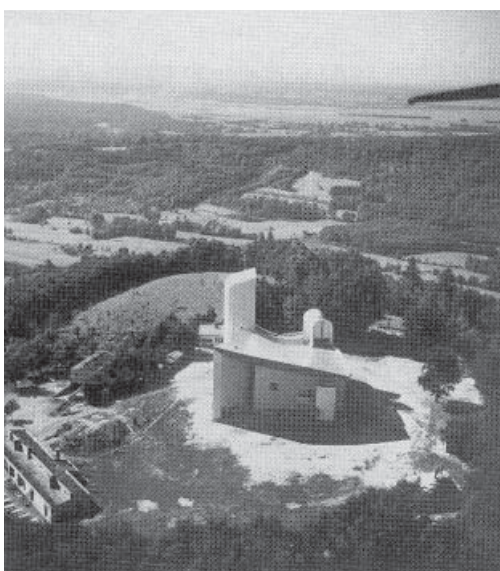
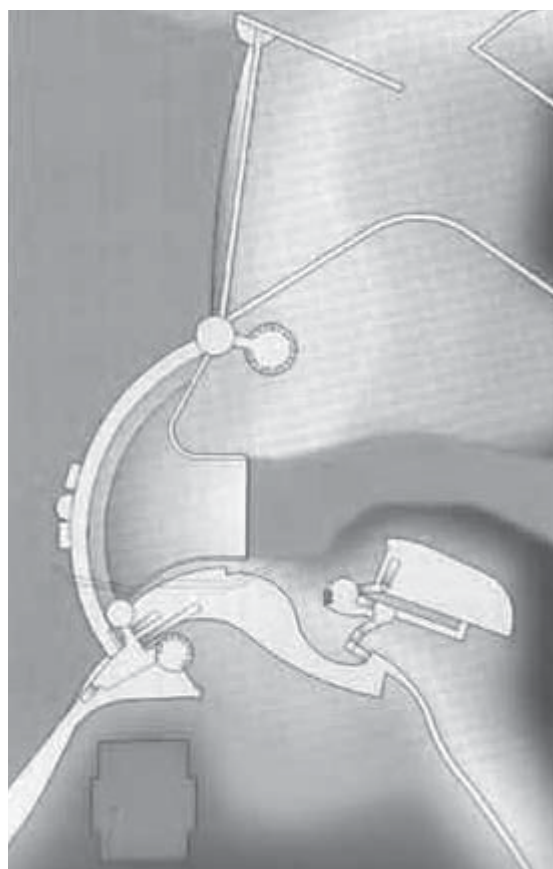
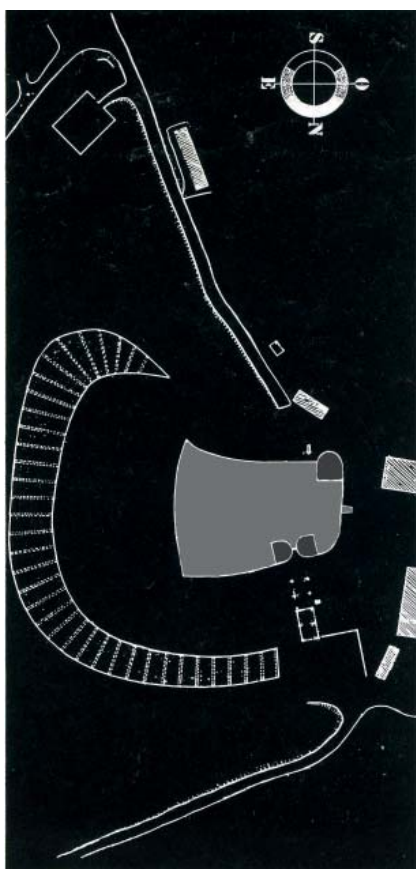
Sabemos que ambas ocupan una posición geográfica inversa. Una corona un promontorio con la ayuda, en un primer proyecto, de un peralte sobre costillas de hormigón armado para establecer una superficie horizontal destinada al culto exterior. La otra se encaja en el fondo de una cerrada pero genera una superficie horizontal de gran tamaño. Capilla y presa, no solo se adaptan a la topografía, sino que generan topografía, son topografía. Los sitios en los que se ubican han cambiado radicalmente con su presencia.

También podemos apreciar en Ronchamp un interés por el trabajo con formas fluidas o auditivas, caracterizadas por el uso de planos plegados y figuras de revolución. Una plástica compartida por Gaitanejo pero resultado de un proceso deductivo y una escala similar.

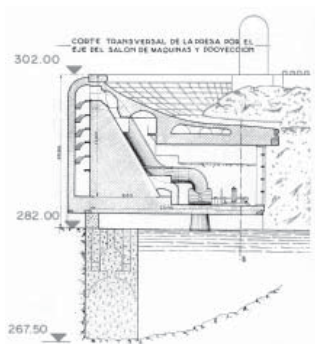
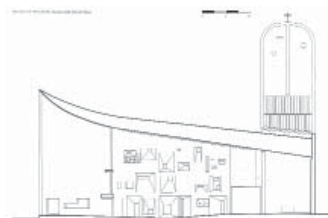
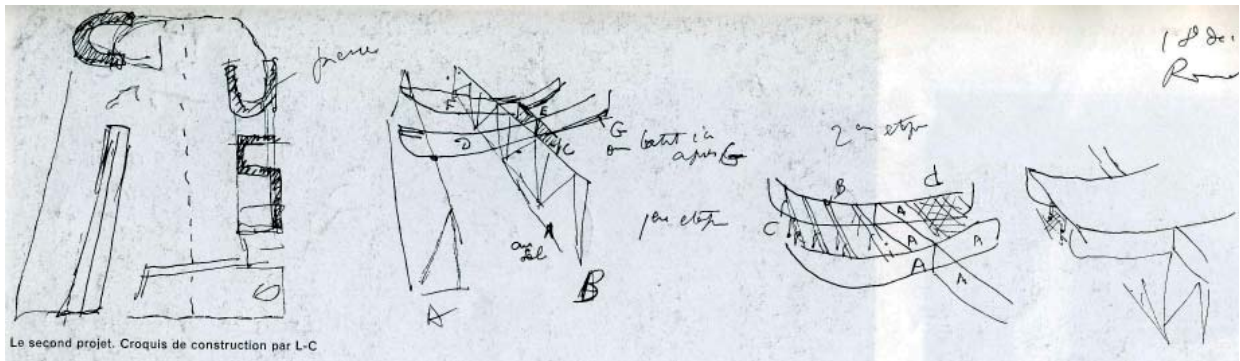
Además intuimos que la cubierta de Ronchamp está pensada

Presa de l'Agile y de Gaitanejo.

3 FLC P1-11-267: A. Coyne a LC, 18-12-53



Plano de emplazamiento de Roncham y de Gaitanejo a la misma escala y vista de su enclave topográfico.



Secciones transversales de la capilla y la presa a la misma escala y con el mismo sentido de vertido de las aguas

Croquis de la estructura de la cubierta de Ronchamp

Interior de Ronchamp.

Construcción de la cubierta de Ronchamp.

Gaitanejo desde aguas abajo.

Sección transversal de Gaitanejo.

como aliviadero y que el aliviadero de Gaitanejo ocupando toda la cerrada es cubierta de la central eléctrica.

La cubierta de Ronchamp lejos de su apariencia monolítica se basa en dos láminas de hormigón armado entre las cuales se aloja una sucesión de jácenas dispuestas perpendicularmente a otra que actúa de espina dorsal. El grosor total supera los dos metros. Su longitud es de unos 33m y la anchura media de unos 21m. La gárgola se sitúa al final del eje longitudinal que se desarrolla en un desnivel de unos 6m. La cara inferior es convexa a modo de casco de buque, y la superior cóncava. Así la lámina inferior es la responsable de delimitar el espacio interior y la superior de conducir las aguas.

El vertedero de la presa del Gaitanejo es como hemos dicho una bóveda de hormigón de eje horizontal orientado en el sentido del discurrir de las aguas junto a otra de transversal y de sección variable para encajar la anterior con el labio superior de la presa. De hecho esta cubierta-aliviadero tampoco es maciza. Una sucesión de planos longitudinales sobre la superficie horizontal de la bóveda real apoyan una lámina de hormigón armado y le preparan la inclinación a para la correcta evacuación de las aguas, a modo de tabiques conejeros en una cubierta de tejas convencional.

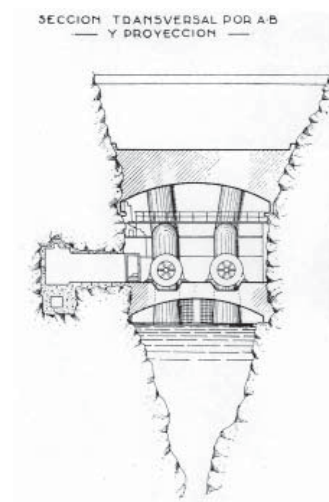
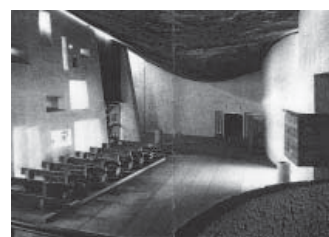
En la capilla de Ronchamp, la superficie tensa y lisa de la cubierta de hormigón contrasta con el acabado rugoso y blanco de los paramentos donde se valora con la interacción de la luz la irregularidad del revoco. Las paredes tampoco son monolíticas como podría parecer. Se trata de unos "estantes" a base de barras de hormigón armado que se rellenan con piedras y después se revoca. El contacto con la cubierta es discontinuo, coincidiendo

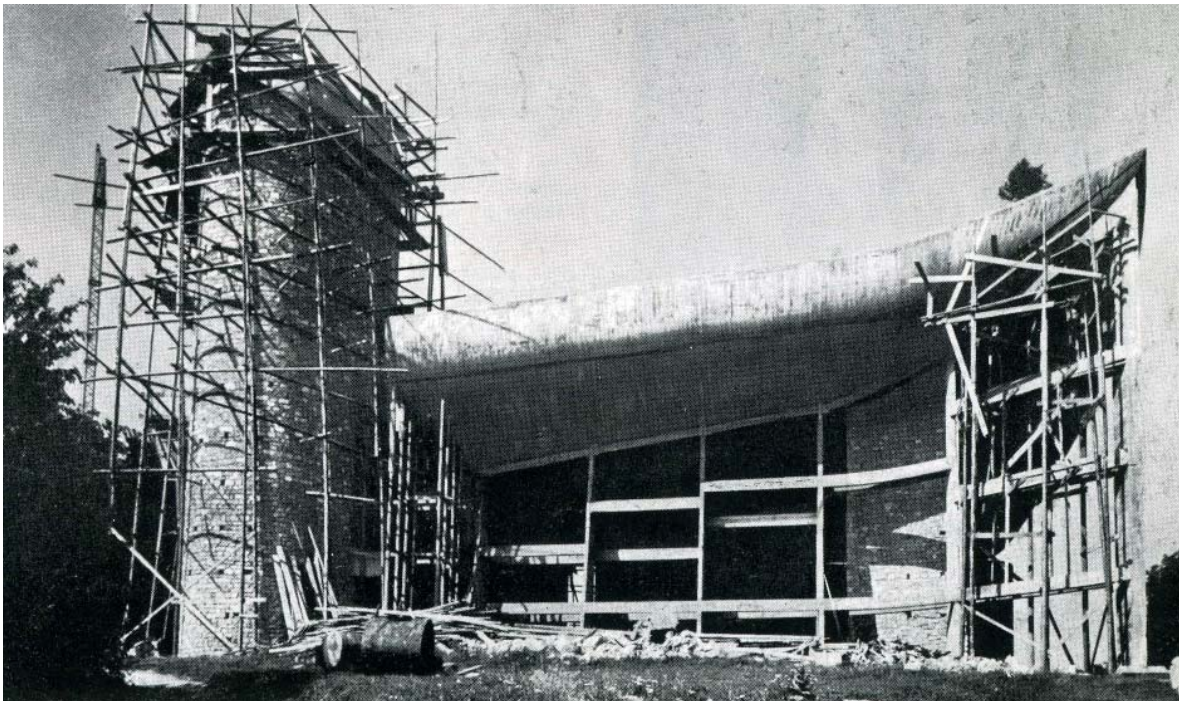
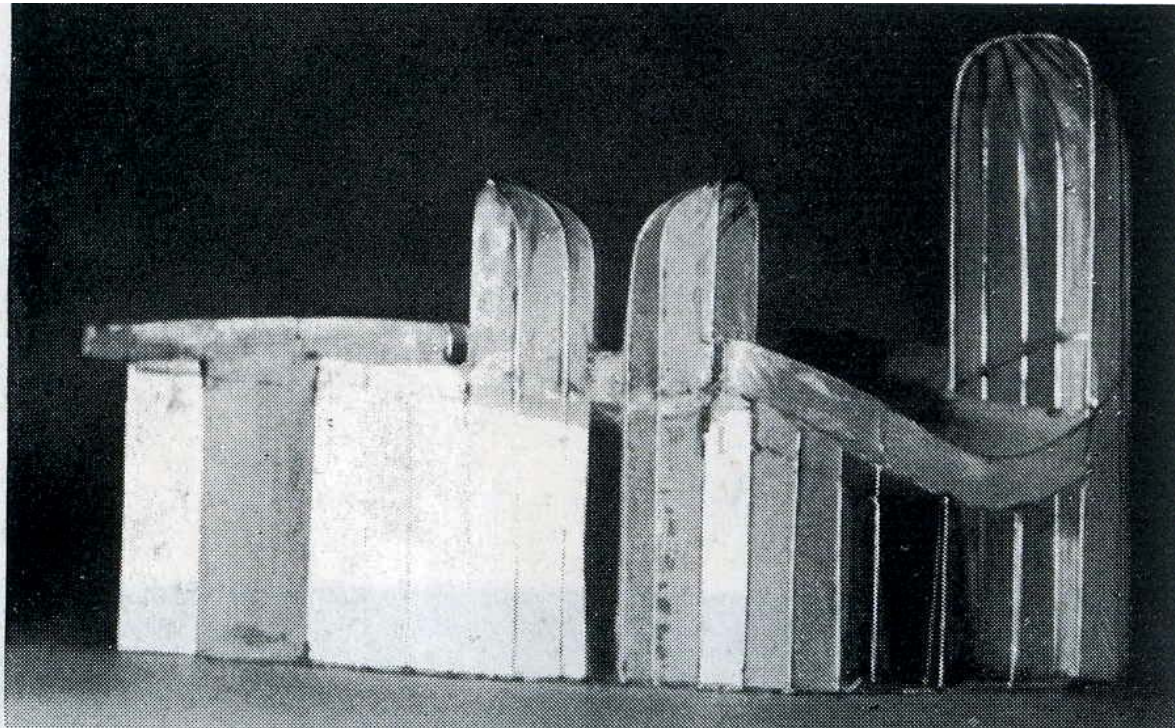
las cartelas de la misma con los montantes internos de la pared. A parte de crear un efecto de levedad en aquello que es pesado, se resuelve elegantemente una entrega difícil.

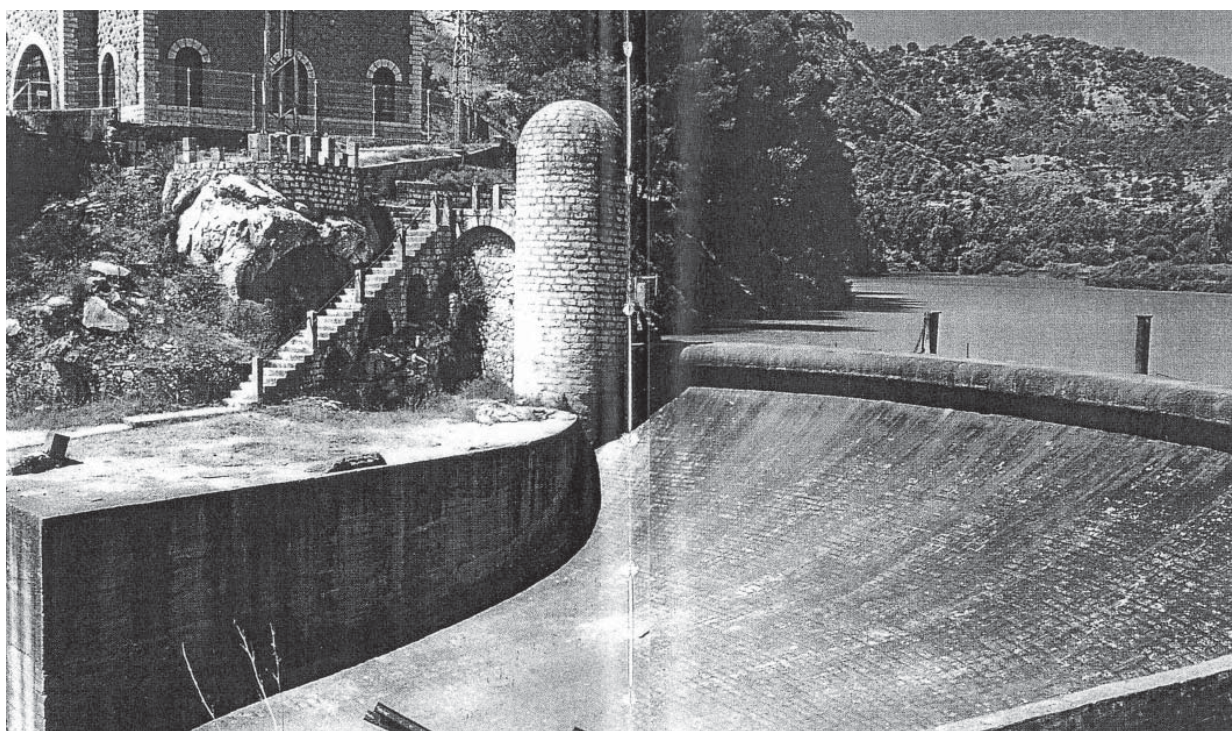
En la sala de turbinas de la presa también se confrontan la superficie del encofrado de la bóveda y la pared vista del cañón en la que se ubica. Aquí como es lógico, la bóveda se empotra en toda su longitud a la pared, pero para garantizar un reparto uniforme y una buena entrega entre la irregularidad de la pared y la rectitud de la cubierta se dispone una cornisa a lado y lado que permite una elegante transición entre la peña y un corto paramento vertical de hormigón, previo al arranque de la bóveda. La separación y la sombra que produce esta cornisa también ayuda a separar los dos elementos de naturaleza distinta. Más adelante volveremos a éste interior.

Desde el oeste la capilla presenta un alzado abstracto que prescinde de cualquier elemento que nos refiera a la medida humana, con lo cual el edificio pierde la domesticidad del lado opuesto. La cubierta cóncava con gárgola central de la capilla es flanqueada aparentemente por dos torres en un plano intermedio. En realidad son tres torres semicilíndricas coronadas también por semicúpulas, construidas en piedra y después revocadas y pintadas en blanco. Son los únicos elementos que emergen de la cubierta de hormigón de relativa horizontalidad. Por la cara seccionada permiten la entrada de luz que gracias a la reflexión es conducida hasta el interior de la sala. Cada torre busca una luz con temperatura de color diferente, de este, de oeste y de norte, completando la iluminación de sur que proporciona la pared taladrada. Pero además las torres también son las responsables de señalar el acceso a los peregrinos, así como de configurar una puerta con de considerable grosor.

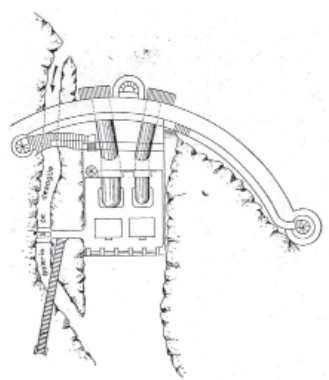
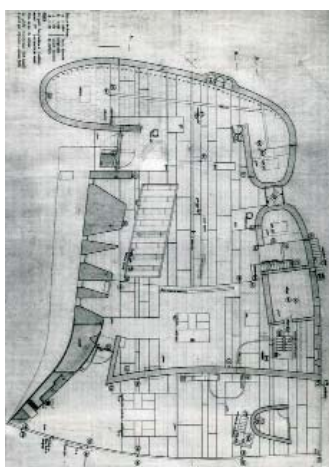
La misma relación entre cubierta de hormigón y dos torres flanqueándola se establece en Gaitanejo. Dos torres cilíndricas rematadas en cúpula emergen, una en cada estribo de la presa. Las dos torres se construyen en mampostería de piedra y son el único elemento que sobrepasa la cota de coronación de la presa (302 snm). Una puerta cerrada con verja en el tramo superior permite el acceso a la escalera de caracol que penetra hasta el interior de la central, así como su ventilación e iluminación. Para alcanzar estas puertas es necesario cruzar un puente de piedra en el estribo derecho o uno de acero en el izquierdo. Una tercera







Maqueta de Ronchamp realizada con
alambre
Alzado sur
Aliviadero y torres de Gaitanejo



semitorre se adosa en el eje de simetría del paramento aguas arriba sin superar la cota máxima de embalse. Permite el control de los desagües de fondo.

La sala interior es una nave longitudinal y focalizada en el gran vitral según el sentido de descenso de las aguas. En la parte posterior se percibe la superficie inclinada de la presa de gravedad, y el descenso de las dos grandes tuberías que conducen el agua a las turbinas del centro de la sala. Después el agua es devuelta al curso fluvial bajo el piso de la central. El ingreso desde las torres se realiza desde la parte posterior llegando a una superficie más elevada, a modo de coro sobre capilla, que domina la sala desde un punto alto. Aún más arriba una pasarela permite cruzar los tubos. Otra escalera de caracol insertada en el muro permite el descenso hasta la sala.

La iluminación que recibe la proviene de fachada aguas abajo. El espacio entre las dos bóvedas, liberado de toda sollicitación estructural⁴, se rellena con un emparrillado hormigón armado de seis montantes y cuatro travesaños. Para explicitar la naturaleza no portante de dicho emparrillado, se trata como un muro cortina, pasando los montantes por delante de la cara de la bóveda inferior. En el caso de la superior lo hace imposible el vuelo necesario para proteger la fachada. Esta gran verja de intersticios cuadrados se rellena con bloques de cristal. La fachada está orientada a sur, con lo cual la percepción desde dentro con la presa vertiendo ofrece una luz vibrante y destellante. Una percepción similar tiene el peregrino desde el interior de la capilla de Nôtre-Dame-du-Haut en Ronchamp. El único muro que provee de luz directa al interior es el orientado a sur, el mismo que guía la entrada desde el exterior. Existen huecos abocinados de distinto tamaño y proporción, rellenos por cristales de color:

En su interior, el peregrino es privado de la visión directa del paisaje que circunda el promontorio. Solo percibe la esencia fragmentada en destellos, reflejos y ecos. Fácilmente podría encontrarse dentro de la montaña, en una cueva, como en el proyecto de Le Corbusier para la basílica de La Sainte-Baume (1948). Quizás bajo un caudal de $12\text{m}^3/\text{s}$ en vertido libre. Escondida en el

⁴ Véase como en L'aigle o Chastang los cerramientos de la central aguas abajo son poco perforados por tener que soportar a los trampolines-aliviadero.

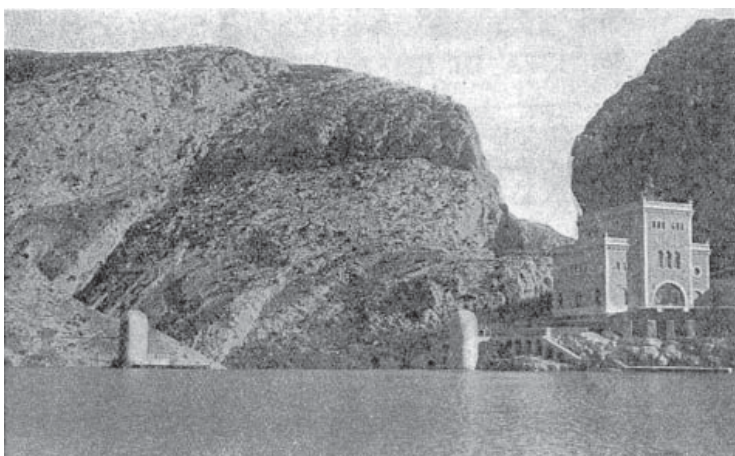


Imagen de las torres de la capilla de Ronchamp emergiendo del embalse en verano del 1956.

fondo del pantano de Gaitanejo, los peregrinos acudirían a su cita anual en verano, cuando las aguas descienden, y sobre el plano horizontal del embalse afloran las torres de la capilla.



Cortijos y rascacielos

Alcalá del Río, Jándula

La Ingeniería Total podría definirse como aquella que agrupa simultáneamente la utilidad, el arte y la naturaleza. Es evidente que sin utilidad no hay ingeniería. En segundo lugar, una ingeniería que aspire a ser total no debe olvidarse de la naturaleza, debe recuperarla como imagen de belleza, de tranquilidad, de orden no represivo. Una ingeniería que incorpore con amor y poesía la naturaleza y construya obras humanas. Será una ingeniería civil que no destruya sino que más bien acomode las relaciones naturales de la geología, de la geografía y de la vegetación, creando una realidad nueva donde el hombre encuentre un refugio más humano.

José Antonio Fernández Ordóñez¹

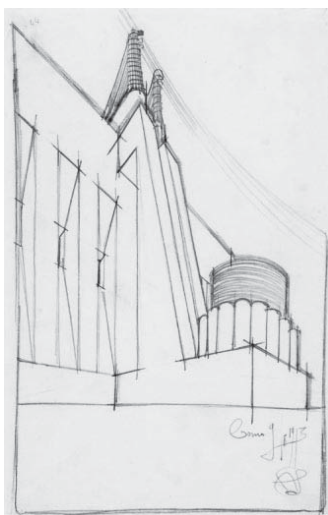
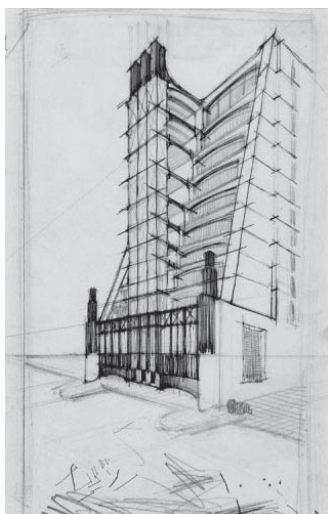
Electricidad y monumento

Una colosal presa de gravedad, flanqueada por dos enormes torres escalonadas y de caras inclinadas, a imagen de mastabas. El conjunto se dispone sobre un zócalo frente al cual parte un cauce de agua mansa. Presidiendo la composición, en el eje de simetría, un pedestal eleva una figura que resiste con la espalda el empuje de las aguas. Es el *Monumento al triunfo de la Civilización, a las grandes conquistas de la Idea y las victorias del Hombre sobre la Naturaleza, a la Paz Universal*.

Este es el primer proyecto de la carrera profesional de Casto Fernández-Shaw², realizado entre 1918 y 1919. Pero también es un posicionamiento ideológico, según el cual la técnica deviene la herramienta para domesticar las fuerzas de la naturaleza y construir un mundo a medida del hombre. Tanto el monumento como el planteamiento que en él subyace le acompañarán el resto de su vida, esperando en todo momento la oportunidad para llevarlo a cabo. Esto da lugar a varias representaciones e interpretaciones

¹ Fragmento del texto original para la conferencia impartida bajo el título “Ingeniería total” en la Universidad Internacional Menéndez Pelayo en el verano de 1984, conservado en el archivo de José Ramón Navarro Vera. Fernández Ordóñez, 2009, p. 39

² Con la colaboración del escultor Juan Cristóbal y Lozano



Antonio Sant'Elia. *Centrale idroelettrica con turbina*, 1913 y *Casa a gradinata con ascensori esterni*, 1914
Pinacoteca Civica di Palazzo Volpi, Como

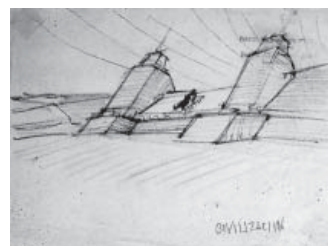
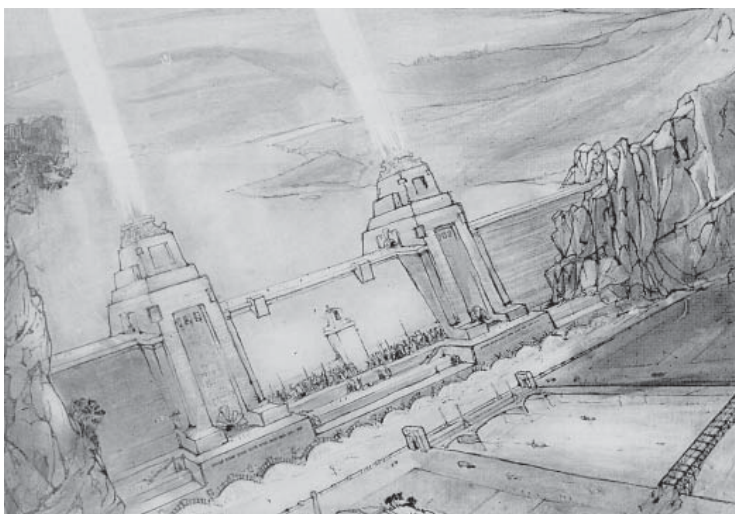
de la idea, imaginando incluso localizaciones concretas como la presa de Asuán o las cataratas del Niágara.

La energía eléctrica fabricada por las turbinas se transformaría en dos potentes haces de luz verticales sobre los pilonos. Unas torres que, en función del momento vital del autor³, desarrollan diferentes usos matizando el significado del monumento; desde una estación de radio para desmentir los discursos políticos oficiales y garantizar la paz mundial, hasta dos templos dedicados a la ciencia y al arte en los cuales se inscribirían los nombres de los genios de la humanidad.

La mayoría de versiones, desarrolladas hasta 1978, son representadas con perspectivas desde un punto de vista bajo, estructuradas a partir de potentes diagonales e iluminación nocturna contrastada que magnifican la escala del conjunto. Es un tipo de encuadre similar al que utiliza la fotografía en el constructivismo, focalizada en las máquinas y las grandes obras de ingeniería construidas por el esfuerzo común de los trabajadores soviéticos. Una composición que también recuerda, por motivo y sistema de representación, al repertorio de dibujos de Antonio Sant'Elia, entre los que destaca la serie *Centrale elettrica*. El arquitecto italiano ideó todo tipo de edificios a imagen y semejanza de la presa, del mismo modo que el "aerodinamismo" y pasión por la máquina impregnaba la producción de Fernández-Shaw, ya se tratase de presas, monumentos o gasolineras.

Las construcciones imaginarias de Sant'Elia borran la frontera formal entre territorio y ciudad, entre ingeniería y arquitectura, figurando una urbe con carácter de presa. Las calles se representan vacías y los edificios lucen descontextualizados, sin referencia de escala, como una colección de monumentos sobre una bandeja. Su geometría está fuertemente inspirada en las centrales energéticas, recurriendo habitualmente a construcciones formadas por una combinación de cuerpos inclinados o escalonados entre torres verticales. Del mismo modo que sucede en el monumento de Fernández-Shaw e incluso en algunas de las intervenciones de Vaquero Palacios en las centrales eléctricas asturianas, el lenguaje utilizado aún futuro y pasado, estableciendo relaciones entre el mundo de las presas y las construcciones egipcias o precolombinas.

³ Casto Fernández-Shaw va completando el nombre y el simbolismo del monumento en función del contexto, a partir del originario *Monumento a las Victorias del Hombre sobre la Naturaleza*. "Autobiografía". En: García Pérez, Cabrero Garrido (ed.), 1999



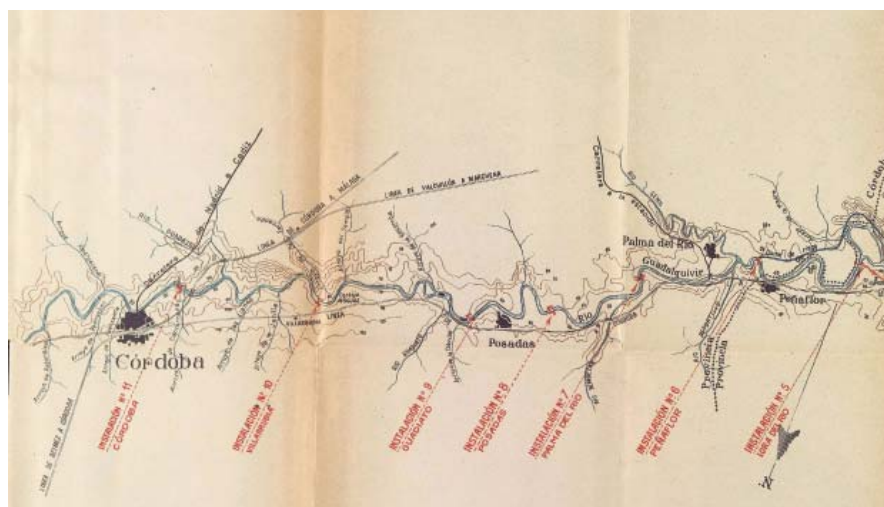
Si la *Cité industrielle* imaginada por Tony Garnier en 1904, aunque presidida por una gran presa, estaba impregnada por el carácter fabril, una década más tarde es protagonista la arquitectura de la energía. Es el símbolo de una puerta de escapatoria del presente a través de los ingredientes fundacionales de una nueva sociedad, en la que energía y velocidad son sinónimos de progreso y civilización. Esta arquitectura, como también el monumento de Casto Fernández-Shaw, refleja una actitud positivista, por la cual el devenir del mundo es programable con la ciencia y la tecnología. La humanidad, a partir de la idea y a través del conocimiento, domesticará las fuerzas vivas de la naturaleza para una vida mejor.

Dioses y soñadores

Detrás el millar y medio de presas españolas reside el sueño de un nuevo país en el que el agua y la energía sean recursos disponibles en todas partes. Realmente un éxito atendiendo a la capacidad de regulación conseguida, cercana al 50% de los recursos, frente al 10% disponible de forma natural. Pero no se puede decir lo mismo de los resultados en la obra hidráulica para la comunicación interior, los canales navegables. A pesar de los recursos invertidos, estos proyectos han quedado a medias, generalmente por una falta de planificación o financiación. El perfil teórico que José Torán dibuja del trayecto en ferrocarril entre Madrid

Casto Fernández-Shaw. *Monumento al triunfo de la Civilización, a las grandes conquistas de la Idea, a las victorias del Hombre sobre la Naturaleza, a la Paz Universal*

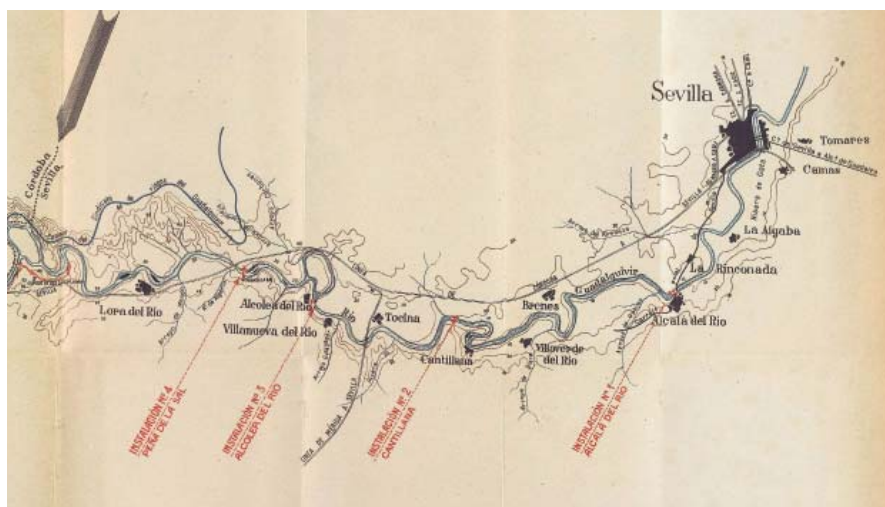
Archivo Félix Cabrero. García Pérez, Cabrero Garrido (ed.), 1999, pp. 41, 268



y París pone de manifiesto la distinta naturaleza del relieve de ambos países. Las condiciones orográficas de Francia facilitaron el trazado de una extensa red de canales para la vertebración del país. Quizá aquí los sueños de navegabilidad no estaban al alcance de las posibilidades técnicas y presupuestarias, pero las difíciles condiciones orográficas ofrecían, en cambio, un sinfín de cerradas de gran calidad.

Después de varios intentos frustrados, la propuesta de Carlos Mendoza para la navegabilidad del Guadalquivir entre Córdoba y Sevilla es seguramente el último proyecto español de gran envergadura en el campo de la navegación interior. Este será el cometido de la compañía Mengemor fundada en 1904 y que, tras unos primeros trabajos en Madrid, se centra en el desarrollo eléctrico de Andalucía. En una exposición celebrada en el Círculo de Bellas Artes de Madrid, Carlos Mendoza descubre asombrado el proyecto de monumento de Casto Fernández-Shaw. “¡Un arquitecto que proyecta presas!”, exclama Mendoza⁴. Fernández-Shaw trabaja por entonces en la Compañía Urbanizadora Metropolitana, pero su propuesta de monumento le abrirá las puertas a formar parte del equipo de Mengemor. Completará así un equipo de soñadores dispuestos a transformar el mundo a través de las presas.

4 “Autobiografía”. En: García Pérez, Cabrero Garrido (ed.), 1999, p. 268



Presa y móvil

El valle del Guadalquivir es una excepción desde el punto de vista fisiográfico. Constituye la única llanura litoral importante en una “península que se organiza como un anfiteatro amurallado”⁵. Fruto de esta distribución, predomina la acción erosiva de los cauces frente al depósito, con la salvedad de los aluviones de dicho valle y de algunos deltas catalanes. En general, los ríos españoles superan varios portillos a lo largo del curso hasta la costa, lo que ofrece una gran cantidad de cerradas con buenas condiciones para construir una presa.

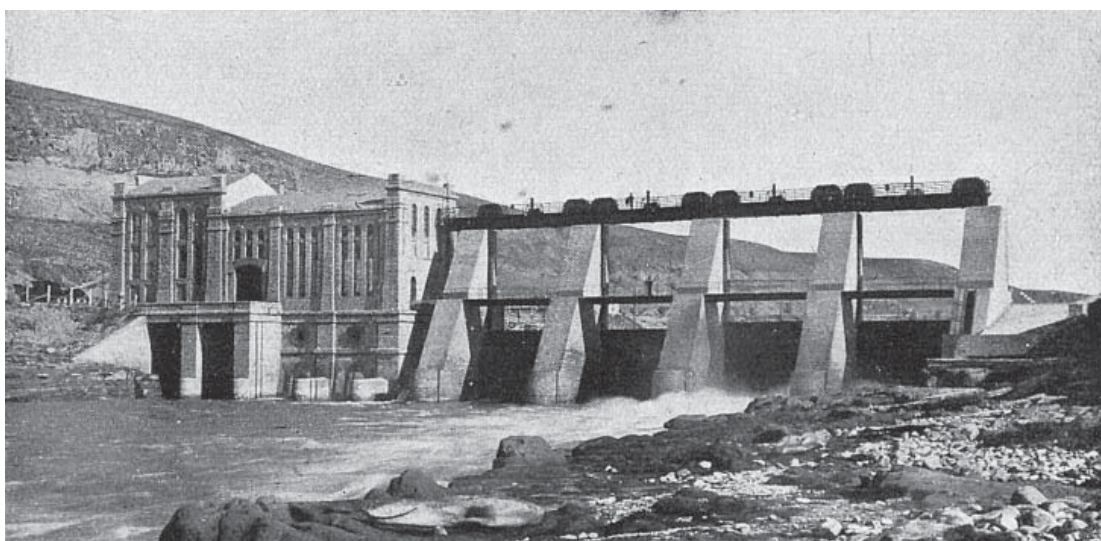
El *Proyecto de Canalización y aprovechamiento de energía del Guadalquivir entre Córdoba y Sevilla*⁶ contempla la construcción de una escalera formada por 11 presas de alturas comprendidas entre los 5,25 y 10m, garantizando siempre un calado mínimo de 2m. Represar las aguas del curso inferior del Guadalquivir debe responder a unos condicionantes distintos a las cerradas habituales hasta el momento. Es un tramo de poca pendiente, sólo 88m de desnivel en los 170Km de recorrido, y con un comportamiento torrencial que da lugar a fluctuaciones de caudal del orden de 1 a 900⁷. Cubre el ancho valle una capa de limos que, junto a una

5 Sáenz Ridruejo, Sáenz Sanz, 2006, p. 10

6 Mendoza Sáez de Argandoña, 1926, p. 463

7 Los aforos en que se basa el proyecto estiman con un caudal de estiaje mínimo de 3 o 4m³/s, un caudal mínimo aprovechable durante nueve meses de 40m³/s y avenidas torrenciales que alcanzan los 4000m³/s. Mendoza Sáez de Argandoña, 1923, p. 55

Plano general de las instalaciones del *Proyecto de canalización y aprovechamiento de energía del Guadalquivir entre Córdoba y Sevilla* Mendoza Sáez de Argandoña, 1920



sedimentada cultura del agua, lo convierten en un terreno de alto valor agrícola con una notable densidad de población.

El reto será idear un sistema que interfiera lo más mínimo en la avenida, evitando en cualquier momento un aumento significativo de la cota de agua que pudiera comprometer estas vegas. Independientemente del caudal del río, el nivel de embalse deberá mantenerse siempre a una altura similar. Por este motivo, Carlos Mendoza desaprueba las presas de mampostería previstas en el proyecto de navegabilidad de José García Otero, de mediados del siglo XIX.⁸

Garantizar estas condiciones implica la utilización de una nueva tipología de presa, la presa móvil. Es un tipo común en países del centro y norte de Europa en los que predominan grandes llanuras y ríos más caudalosos. Pero Mengemor ya está experimentada en este campo. En 1916 termina una infraestructura de las mismas características en **Mengíbar** sobre el mismo Guadalquivir, aguas abajo de la confluencia con el Guadalimar. Es una instalación para proveer electricidad a las zonas plomíferas de Linares y La Carolina, que viene a completar la producción de tres centrales construidas anteriormente. El proyecto

Presa y central de Mengíbar
Mendoza Sáez de Argandoña, 1920 / Fondo
Histórico Endesa. Bernal, 1994, p. 209

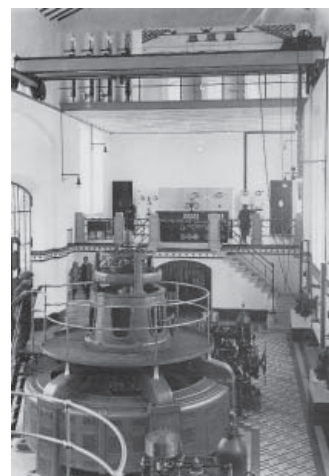
8 Otro motivo es el rápido aterramiento de estas estructuras fijas. "Historia de antiguos proyectos para la canalización del Guadalquivir". Reseña del folleto divulgativo escrito por Carlos Mendoza. *Revista de Obras Públicas*, 1919, núm. 2274, p. 197

cuenta con la colaboración del arquitecto Antonio Palacios⁹, lo que demuestra el interés de la compañía en integrar técnicos complementarios.

Ante la inexistencia de un portillo importante y atendiendo a las grandes avenidas, la presa aquí se desdibuja. Es, por decirlo de alguna manera, como si de una presa convencional sólo nos quedásemos con el fragmento de la coronación que regula la salida al aliviadero. Así, el tipo móvil se caracteriza por una sucesión de pilas levantadas sobre un cimiento corrido, convenientemente perfilado para el vertido. En cada vano se dispone una compuerta tipo Stoney que desliza verticalmente entre soportes, permitiendo regular a discreción el caudal de salida. La altura de las pilas en **Mengíbar** supera generosamente los 11m sobre el nivel del cauce para el soporte de un doble sistema de guiado de las compuertas¹⁰. Esto, sumado a los 2m de profundidad de cimientos, configura una estructura de unos 22m de altura.

El perfil de las pilas es escalonado hacia aguas abajo sosteniendo una pasarela de comunicación entre laderas. Corona la estructura un puente metálico para la instalación de los mecanismos de accionamiento de las compuertas. La central se ubica sobre el mismo eje de la presa, de forma transversal al cauce, aquí en la ladera derecha. Es un volumen longitudinal con cubierta a dos aguas, formado por una sala de máquinas y un cuerpo adyacente de dos niveles para los transformadores y dependencias auxiliares. En la composición de la fachada reverbera la estructura de la presa en forma de pilastras y ventanales de proporción vertical.

Las presas móviles generalmente se construyen en hormigón, aprovechando su buen comportamiento frente las diferentes cargas hidrostáticas e hidrodinámicas a las que están sometidas¹¹. Sin embargo, Mengemor acaba sus instalaciones con un revestimiento de bloque de cemento a modo de encofrado perdido.



9 Antonio Palacios es el profesor más influyente en la formación de Casto Fernández-Shaw durante los estudios de arquitectura. Palacios mantiene además una estrecha relación profesional con la Compañía Urbanizadora Metropolitana de los hermanos Otamendi. Mengemor por su parte, colabora con Miguel Otamendi en varios proyectos entre los que destaca la construcción del metro de Madrid

10 Un sistema de guiado anterior para las cuatro compuertas de 10x7m y otro sistema posterior en el que se coloca una compuerta provisional en caso de reparación

11 Es una excepción la utilización de mampostería y sillería en presa de El Cortijo, terminada en el Ebro en 1922. Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 651



El siguiente proyecto de la compañía, aguas abajo de **Mengíbar**, plantea una disposición diferente. La presa móvil de **El Carpio**, emplazada en la entrada de un meandro, está conectada por un túnel subterráneo de unos 1.000m con la central, ubicada en la salida del mismo. Así se añaden 6m de salto a los 14 de la presa.

Este será el primer contacto con el mundo real de las presas de Casto Fernández-Shaw, que colmatará el trabajo de los ingenieros Antonio del Águila y Juan Colás. Entra en escena cuando el proyecto ya está definido, pero su aportación pone en relación las dos estructuras que, a diferencia de **Mengíbar**, permanecen visualmente separadas. Emplea para ello un lenguaje común y un repertorio de acabados similar. La carretera que discurre sobre los 6 vanos de 12,5m de la presa cruza un gran arco de herradura junto al estribo derecho. La presa deviene una puerta hacia la fábrica de electricidad para el río y también para el camino. La central ocupa un volumen estructurado en tres crujías escalonadas sobre la ladera, la inferior de las cuales acoge en toda su altura la sala de máquinas.

Presa y puente de El Carpio
Cabrerro Garrido, 1980

“Pido permiso para, en vez de cubiertas de tejas, proyectar unas cuantas bóvedas de sabor sasánida... me hablan de blanquear la fachada hecha con bloques de cemento, pero me opongo...”¹²

El revestimiento de la estructura de hormigón es común en la presa y la central, en cuyos paramentos se abren pequeñas aperturas arqueadas, dinteladas con hormigón in situ. El edificio queda coronado por un conjunto de cúpulas de ladrillo blanqueadas, que define la cubierta. Cada cúpula señala una habitación de este especie de templo de la electricidad, evidenciando la correspondencia entre las estructuras portante, espacial y funcional del edificio. Es un volumen que por sus proporciones, por la tensión entre paramentos opacos y cubierta ligera, por los acabados, recuerda poderosamente a la iglesia de San Cataldo de Palermo. El lenguaje es un recurso que vincula presa y central pero también invoca en ellas una cultura constructiva de inspiración sasánida, un tributo al legado árabe en el Guadalquivir; un legado que trasciende la arquitectura para configurar un territorio, una forma de vida y una economía alrededor de la domesticación del agua.

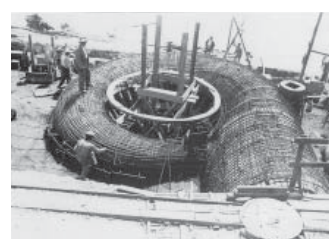
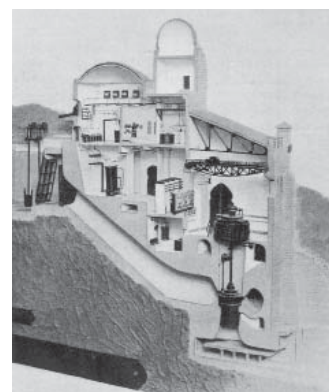
“Han pasado varios años; el hormigón tiene ya un color propio fundido con el paisaje. Tiene calidad de material noble.”¹³

Energía y poder

Carlos Mendoza aprovecha la asistencia de Alfonso XIII a la inauguración de la central de **Mengíbar**, a finales de 1916, para exponerle su *Proyecto de Canalización y aprovechamiento de energía del Guadalquivir entre Córdoba y Sevilla*. Se trata hacer partícipe al estado de la idea ilustrada de una vía navegable, que además comportará una sustancial mejora del regadío de la vega agrícola. En efecto, ante la receptividad del monarca, el año siguiente Mengemor empieza a redactar el proyecto, cuya solicitud de concesión presenta en 1919.

¹² “Autobiografía”. En: García Pérez, Cabrero Garrido (ed.), 1999, p. 268

¹³ El salto de El Carpio recibe la medalla de oro en la Sección de Arquitectura en la Exposición Internacional de Artes Decorativas e Industriales de París en 1925 y otros premios en Basilea, Sevilla y Barcelona. García Pérez, Cabrero Garrido (ed.), 1999, p. 42



Vista y modelo seccionado de la central de El Carpio

Ibérica, 1926, núm. 619, portada / *Cortijos y Rascacielos*. García Pérez, Cabrero Garrido (ed.), 1999, p. 42

Armado de las cámaras espirales antes de su hormigonado

Fondo Histórico Endesa. Bernal, 1994, p. 211



Mengemor inicia una intensa campaña de difusión con el objetivo de construir una opinión pública favorable, de forma que los intereses de la sociedad andaluza confluyan con los de la compañía. En este sentido, Mendoza imparte conferencias en Córdoba y Sevilla, publica varios artículos y edita un extenso folleto divulgativo. La navegación, el riego y los nuevos puentes son aspectos que trascienden el aprovechamiento hidroeléctrico y apelan directamente al sentido de estado. En otras palabras, son aspectos claves para seducir la sociedad y allanar el camino para acogerse a los beneficios que concede la *Ley de Aguas*, estimados en una cuarta parte del coste global. Mendoza plantea el proyecto como una inversión sumamente rentable para el erario público:

“Con la acertada combinación de obras propuesta y de intereses que se aúnan (los particulares y los generales), no hay vía navegable en Europa de tan grande importancia con tan poco coste para el Estado.”¹⁴

Parecía que todo estaba atado pero, estando los trámites administrativos en curso, la Sociedad Hidroeléctrica del Chorro presenta por sorpresa en 1920 una solicitud de aprovechamiento del salto de pie de presa de **Jándula**, sobre un afluente del Guadalquivir. Esta compañía es la principal competidora de Mengemor en el mercado energético andaluz, inmersa en aquel entonces en el desarrollo del sistema hidroeléctrico del **Chorro**, en Málaga. El equipo liderado por Carlos Mendoza reacciona rápidamente, redactando en tan sólo tres meses un anteproyecto más definido de dicha presa para hacer frente a la competencia.

Es una explotación de suma importancia para los planes de Mengemor porque la gran variabilidad de caudal del Guadalquivir no asegura la navegación durante los períodos de estiaje. Las presas móviles a construir sobre el cauce tampoco disponen de la suficiente capacidad de embalse, por lo que es necesario regularlo desde sus afluentes¹⁵. El río Jándula, a la altura de la Charca del

Inauguración de la central de Mengíbar por Alfonso XIII, el 20 de noviembre de 1916

Barahona Vallecino, Sebastián. “El 24 de junio de 1912, se inaugura el alumbrado eléctrico en Mengíbar”. *Revista de la Feria de Mengíbar*, 2005, p. 10

14 Crónica de la conferencia “Canalización del Guadalquivir” pronunciada por Carlos Mendoza en el Círculo de la Amistad de Córdoba. *Revista de Obras Públicas*, 1919, núm. 2274, p. 196

15 Debido a la morfología del valle del Guadalquivir, sólo es posible regular la cuenca desde los afluentes, a excepción de la presa de Tranco de Beas situada en la cabecera. Aguiló Alonso, 2002, p. 114



Fraile, presenta unas buenas condiciones para la construcción de un gran pantano, como ya recoge el *Plan Nacional para Aprovechamientos Hidráulicos* de 1902.

La complementariedad de los proyectos sobre los ríos Jándula y Guadalquivir se extiende además al terreno económico, relacionando los beneficios de la explotación hidroeléctrica del primero con la inversión requerida para el proyecto de navegabilidad en el segundo. Todo este argumentario no es suficiente para resolver rápidamente la concesión, lo que requiere cinco años de arduas negociaciones y la mediación del conde de los Gaitanes, José Luis de Ussía¹⁶. Finalmente Mengemor se sale con la suya, pero la envergadura del proyecto excede sus capacidades económicas. Se constituye para ello Canalización y Fuerzas del Guadalquivir con el soporte de los bancos Central y de Vizcaya, incorporando además en el accionariado la Sociedad Hidroeléctrica del Chorro como compensación.

Según el acuerdo suscrito con la administración, los costes de construcción de la presa de **Jándula** se reparten al cincuenta por ciento, avanzando el estado un 40% de su parte. La compañía se encargará de la construcción de toda la infraestructura con un precio máximo garantizado y quedará en sus manos el aprovechamiento hidroeléctrico. El estado será el propietario de la presa responsabilizándose del mantenimiento y tendrá potestad de decidir el destino de las aguas turbinadas.

El Decreto-ley de 29 de abril de 1925 también establece un período máximo de seis meses para la redacción de los proyectos

Presa de Cantillana, segundo y último escalón construido del proyecto de navegación por el Guadalquivir

Fotografía Javier Hernández Gallardo. Martín Pérez, Fernández-Palacios Carmona, Sancho Royo, 2013, p. 58

¹⁶ Galnares del Coso, García Redondo, Gutiérrez Abad, 1996, p. 83

de la presa de **Jándula** y la primera instalación del Guadalquivir, cuya construcción deberá comenzar en el plazo de un año. Las obras empiezan a buen ritmo, entrando en servicio **Alcalá del Río** en 1930, pero no sucederá lo mismo con el resto de escalones para los que se determina un período máximo de dos décadas. La crisis económica de 1929, la Guerra Civil y el bloqueo internacional posterior someten la empresa a un precario estado de cuentas. A esto cabe sumarle la creciente extracción de agua para el riego, que merma el caudal del río haciéndolo cada vez más incompatible con el uso planeado. En 1946 el estado desestima la recesión de la concesión solicitada por Mengemor, concediendo una prórroga hasta 1970.

La compañía se ve obligada a construir en 1948 el segundo salto en **Cantillana**, de características similares al primer escalón, pero con un coste diez veces superior¹⁷. Ante la imposibilidad económica de levantar las nueve presas restantes, Mengemor propone ahora la construcción de un canal paralelo al cauce fluvial; una opción que inicialmente había sido descartada por ser incompatibles las demandas de agua requeridas para los distintos usos. El estado acepta la propuesta, pero en 1951 la responsabilidad recae en manos de la Compañía Sevillana de Electricidad tras la integración de Mengemor. Finalmente, en 1964 la administración renuncia oficialmente al proyecto para la navegabilidad del Guadalquivir entre Córdoba y Sevilla, cerrando la puerta al último capítulo de un sueño ilustrado.

A vista de los resultados, permanecerá en la duda hasta que punto Mengemor estaba interesada en la construcción de la vía navegable o si se trataba de una estrategia de seducción al estado aduciendo al bien común para que financiase una parte de sus proyectos hidroeléctricos. Tras la concesión de tan importante tramo conseguía ahuyentar la competencia, asentando las bases para convertirse en una de las compañías eléctricas más importantes de España, que podría haber ostentado el monopolio del mercado sureño¹⁸. Por otra parte, tampoco queda claro el interés del estado, de cuya responsabilidad era el equipamiento de las esclusas en las presas terminadas y que nunca llega a materializarse.

17 Galnares del Coso, García Redondo, Gutiérrez Abad, 1996, p. 86

18 Bernal, 1994, p. 214

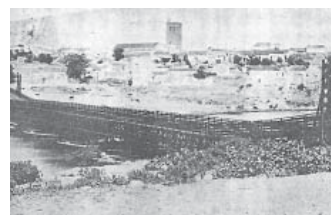


Presa y ciudad

La ciudad de Alcalá del Río es un buen ejemplo de la interrelación entre el hecho geográfico y el asentamiento urbano. Ocupa una meseta en la margen derecha del Guadalquivir, habitada ya en el calcolítico y posterior emplazamiento de la ciudad romana de Ilipa Magna. La posición elevada mantiene el núcleo junto al cauce, pero al resguardo de las crecidas. A sus pies, el río dibuja un gran meandro que coincide con el punto de máximo alcance del refluo de la marea. La confluencia entre el río y la ría facilitaba el cruce del Guadalquivir, configurando el lugar como una encrucijada de caminos.

Estos aspectos también son determinantes para emplazar el primer escalón del proyecto de navegación. Los condicionantes geográficos que son ventajosos para el asentamiento urbano también dibujan una cerrada apropiada. La instalación presa-esclusa-puente constituye otro episodio de la relación de Alcalá con el río, sumando un nuevo estrato. La relación entre la ciudad y el río es inseparable de la forma en que éste se cruza. De hecho, los puentes acaban siendo una de las construcciones más características de las poblaciones fluviales, centro de gravedad de las estrategias de adaptación del territorio y reflejo de su desarrollo técnico y cultural. Desde la edad media, un servicio de barca del consejo de Sevilla ofrecía el pasaje entre riveras, pero no es hasta principios del siglo XX que se levanta el primer puente con una estructura de madera sobre barcas. No cabe la menor duda de la importancia que supone para la población la construcción de la presa y por lo tanto de su primer puente

Instalación número 1 en Alcalá del Río del Proyecto de canalización y aprovechamiento de energía del Guadalquivir entre Córdoba y Sevilla
Mendoza Sáez de Argandoña, 1920



opuesta al núcleo urbano, se ubica la central formada por tres crujías en relación a los tres grupos inicialmente previstos¹⁹ y una cuarta de acceso, transformadores y dependencias auxiliares. Las pilas se diseñan en forma de T invertida, por el eje de las cuales deslizan las compuertas y sobre el escalón de aguas abajo discurre el tablán nervado de la carretera con un ancho útil de 6m. Precisamente la cimentación es uno de los principales retos que presenta la construcción de este tipo de presas, especialmente en el cauce del Guadalquivir, para lo que conviene excavar previamente una capa de limos y otra de arena y gravas hasta encontrar el sustrato de margas duras arcillosas.²⁰

Ciudad y presa son normalmente dos realidades excluyentes, o como mínimo morfológicamente inconexas, quedando la infraestructura relegada al papel de patio trasero de la urbe. En Alcalá ambas forman parte de la misma entidad, más allá de una simple relación de vecindad. Es un logro fruto de la capacidad de Carlos Mendoza para responder al mismo tiempo a las características del cauce, del territorio y de la infraestructura, impregnando la

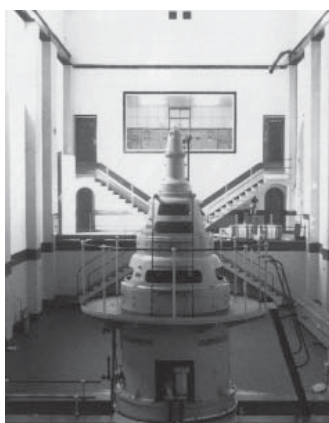
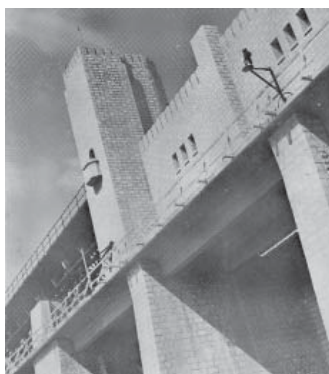
Perspectiva de conjunto según un grabado de Casto Fernández-Shaw Cabrero Garrido, 1980, il. 8

¹⁹ La instalación se equipa finalmente con un par de turbinas Kaplan, con una potencia instalada de 6,8Mw

²⁰ Mendoza Sáez de Argandoña, 1926, p. 464

Puente de barcas de San Gregorio en 1903

ABC Sevilla, 4 de junio de 2014



expansión de sus negocios con el sueño de una transformación de gran calado. Aquí se supera incluso el imaginario urbano de Sant'Elia, en los edificios del cual reverbera la central energética, para devenir ésta una parte más de la ciudad. La presa facilita el cruce del río, pero sobretodo acerca la población al hecho geográfico. Reforzando su papel como centro de gravedad, la compañía urbaniza también el frente fluvial izquierdo con una subestación eléctrica, un poblado para los trabajadores y unos jardines diseñados por Javier de Winthuysen.

El proyecto constructivo ya plantea una infraestructura muy definida, articulada sobre un único eje. Sin embargo, el diseño de la central es completamente autónomo, como si se tratase de un edificio en tierra firme, de paredes encaladas y cubiertas inclinadas con teja árabe. Casto mimetiza la central con la presa adoptando los aspectos más definitorios. Reinterpreta el ritmo estructural de la presa en el paramento principal de la central, señalando los tres vanos funcionales a través de pilastras acompañadas por bajantes a modo de moldura. Una torre importante se erige en forma de pila de mayor altura y grosor, absorbiendo la distancia entre la última compuerta y la primera toma de aguas, y facilitando el acceso a la pasarela superior. Le hace réplica el cuerpo de acceso a las instalaciones, formalizado también en torre y presidido por una gran portalada con arco de medio punto.

Desaparece la cubierta a dos aguas detrás de un pretil, ofreciendo el conjunto la imagen de sólidos volúmenes análogos a las pilas. A ello contribuye la reducción del tamaño de las ventanas a mínimos. Presa y central se construyen en estructura de hormigón revestida en bloque de cemento, con un tratamiento de junta salida que otorga vibración al paramento.

En uno de los croquis preliminares, la fachada de la central se representa inclinada y completamente opaca. Lo mismo sucede con la torre principal que además termina de forma escalonada. Estos aspectos, junto al encuadre estructurado en diagonal, recuerdan fuertemente al proyecto de *Monumento al Triunfo de la Civilización*, lo que invita a observar la persistencia de algunos de sus rasgos en **Alcalá del Río**.

Aquí la intervención de Casto Fernández-Shaw podría parecer epidérmica o accesoria, sin embargo desempeña un papel fundamental. Tras su aportación, el carácter de la obra está a la altura de su concepción y es capaz de transmitir la idea que ella subyace.



Los volúmenes paralelepípedicos, los paramentos masivos y el color pétreo emparentan la estructura con las construcciones más importantes de la ciudad. La muralla de origen romano, la torre de Santa María de la Asunción y ahora la presa-esclusa-puente destacan como los hitos más importantes sobre un fondo de casas blancas. La presa entra a formar parte de los monumentos de la población, realzados por su geometría, escala y color frente al tejido urbano de casas encaladas. Un delicado almenado, sólo insinuado a través de un revestimiento de azulejería azul en un plano retrasado, corona los paramentos de la central, de forma análoga a lo que sucede en la torre mudéjar de la iglesia. A las construcciones levantadas para la defensa y el culto, se le añade ahora un monumento al agua, la energía y la comunicación.

Quizá sólo sea una cuestión de semejanza con el conjunto de antiguos molinos en el cercano río Guadaira, algunos de los cuales se remontan a la baja edad media. Tienen una estructura que nos parecerá ahora común, formada por un largo azud sobre el eje del cual se dispone el edificio del molino; éste formado a su vez por una nave para la molienda acompañada de una imponente torre almenada, como en el caso de la Aceña Trapera o el Algarrobo. No en vano, “las presas móviles pueden considerarse herederas directas de los azudes contruidos a lo largo de bastante más de un milenio en ríos con caudales importantes.”²¹

²¹ Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 647

Presa, central y puente de Alcalá del Río

Cabrero Garrido, 1980, il. 4 / Fotografía Félix Cabrero y Cristina García. García Pérez, Cabrero Garrido (ed.), 1999, p. 45

Sala de turbinas presidida por la sala de mandos y las escaleras de acceso
Aguiló Alonso 2002, p. 117

Molino de la Aceña Trapera en Alcalá de Guadaira

Fotografía Irene Muñoz

Alcalá del Río, presa y ciudad

Fotografía Javier Hernández Gallardo. Martín Pérez, Fernández-Palacios Carmona, Sancho Royo, 2013, p. 48



Los dos núcleos que forman el poblado de la Lancha
Archivo General de la Administración

Transporte del codo de una tubería para el salto del Jándula
Biblioteca Nacional

Experiencia e imaginación

A diferencia de las presas en la vega del Guadalquivir, **Jándula** se construye en un paraje remoto y desabitado de la Sierra Morena, sin campos de cultivo ni poblaciones cercanas. Un lugar sólo frecuentado por pastores y cazadores, donde las aguas estancadas en verano se convierten en un foco de paludismo²². A los pocos días de otorgarse la concesión en 1925, empiezan los trámites de expropiación en la Charca del Fraile, junto con el saneamiento de la zona, la adecuación de vías de acceso y el tendido de líneas de electricidad y telefonía. El año siguiente se levanta un gran poblado en base a dos grupos de pabellones, uno para el millar de obreros y otro para las oficinas y el personal técnico. Atendiendo a la lejanía de Andújar, el núcleo de La Lancha ofrecerá todos los servicios y dotaciones de un pueblo para “asegurar al personal unas condiciones de vida no solamente humanitarias, sino gratas.”²³

Para ejecutar la obra en el corto plazo previsto, de cuatro años, será necesario dotarla de todo tipo de instalaciones auxiliares como fábrica de grava y arena, fábrica de *sand-cement*, instalaciones de carga y transporte, talleres o laboratorio de ensayos. En 1927 empiezan los trabajos en el cuerpo de la presa, realizados directamente por Canalización y Fuerzas del Guadalquivir, es decir, sin contratista externo. La central entra en servicio en 1930, quedando pendientes algunos acabados de coronación para el próximo año. En 1932 se darán las obras por finalizadas, transfiriéndolas al estado en 1935.

Las presas construidas durante el primer tercio del siglo XX en España gozan de un papel relevante en el panorama europeo en términos de dimensión, pero también de desarrollo técnico y constructivo. Así lo demuestra el estudio de la revista técnica alemana *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure* publicado en 1933, según el cual de las 26 mayores presas europeas, acabadas o en construcción, una tercera parte son españolas²⁴. **Jándula** ocupa

22 Galnares del Coso, García Redondo, Gutiérrez Abad, 1996, p. 87

23 Mendoza Sáez de Argandoña, 1928, p. 233

24 Las presas españolas referenciadas por orden de altura son Camarasa, Esla (Ribabayo), Jándula, Tranco de Beas, San Antonio (Talarn), Montejaque, Burguillos, Fuensanta, Príncipe Alfonso (Camporedondo). Artículo reseñado en: *Revista de Obras Públicas*, 1933, núm. 2618, p. 170

la octava posición respecto a la altura con 90m sobre cimientos, y es la sexta por volumen construido con 315.000m³.

Si hacemos el ejercicio de analizar las características de la presa, independientemente de la disposición de la central, veremos que la solución propuesta comparte muchas características con las principales obras coetáneas, especialmente con una de las presas de mayor influencia, **Camarasa**. Realizada ésta según el proyecto de Narciso Amigó y A.W.K. Billings entre 1917 y 1920, es durante unos años la presa más alta de Europa, con 102m sobre cimientos. Se emplaza en el río Noguera Pallaresa, justo antes de la confluencia con el Segre. Su construcción debe entenderse como el siguiente eslabón, tanto desde el punto de vista técnico como de explotación hidroeléctrica, de la presa de **Talarn**, terminada en 1916 aguas arriba y bajo la dirección del mismo equipo de proyectistas.

La cerrada escogida para **Jándula** presenta una morfología similar, caracterizada por unas laderas muy inclinadas y un cauce de anchura escasa, lo que dificulta el proceso constructivo y el encaje de aliviaderos y central. En ambos casos la presa no colmata la altura del portillo, por lo que es necesaria la apertura de túneles para dar continuidad a la vía de coronación. Sin embargo, las características geológicas son mejores en la Charca el Fraile, donde el terreno granítico garantiza unas excelentes condiciones de soporte e impermeabilidad. La naturaleza calcárea del emplazamiento de **Camarasa**, en cambio, exigirá dilatadas campañas para aminorar las fugas del vaso.

Ambos saltos, con una diferencia de altura sobre cimientos de 12m, se plantean con una estructura de gravedad de planta ligeramente curvada, trazada con radio de 300m. **Camarasa** presenta un paramento menos inclinado, con un talud de 0,88, y una cara opuesta en gran parte vertical a excepción del tercio superior, frente a los taludes de 0,75 y 0,03 de **Jándula**. Esto dará lugar a una relación entre base y altura similar, de 0,85 y 0,83, siendo más esbelta la andaluza.²⁵

En los años veinte aún predominan las presas de fábrica de mampostería, algunas de dimensiones considerables como la del Chorro, hoy **Conde de Guadalhorce**. Sin embargo, desde la década anterior se emplea principalmente el hormigón para las



Presas de gravedad y planta curvada de Talarn, Fuensanta, Ricobayo y Tranco de Beas

Tarjeta postal Cliché Gordó / Confederación Hidrográfica del Segura / Sociedad Española de Presas y Embalses / Servicio Histórico y Cultural del Ejército del Aire

²⁵ Según el estudio de los profesores Probst y Tolke de 1931. Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 599



realizaciones más importantes²⁶. Los paramentos de las presas que nos ocupan se construyen en hormigón ciclópeo. **Camarasa** es la primera en utilizar *sand-cement*²⁷ como conglomerante, a la que seguirán otros pantanos en la cuenca del Guadalquivir como **Tranco de Beas** y **Jándula**. La apariencia pétrea de ésta, corresponde en realidad a un paramento construido a la romana, del mismo modo que en la mayoría de obras de Mengemor. El sobre coste del aparejo de sillares de granito se compensa con el ahorro del encofrado de madera y con la utilización de un material que no es necesario comprar ni transportar porque se extrae de una cantera próxima a la cerrada. Además, a un coste ajustado, es posible contratar mano de obra gallega y vasca altamente cualificada para el trabajo de la piedra. Ambos cuerpos se levantan por bloques independientes con juntas cada 16 y 32m respectivamente, confiando la impermeabilidad al retranqueo de las caras laterales y otros dispositivos de sellado como la reserva de pozos para un relleno de asfalto.

La falta de espacio en la cerrada conduce a una disposición parecida de las distintas partes de la infraestructura. El sistema de alivio se ubica en la margen derecha, configurado por un corto canal encajado entre presa y ladera, complementado por

26 Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 672

27 Conglomerante obtenido con la molienda conjunta de cemento y arena silíceo, que presenta como principal ventaja frente al cemento *Portland* un ahorro considerable en la compra de cemento y los costes derivados del transporte. Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 47

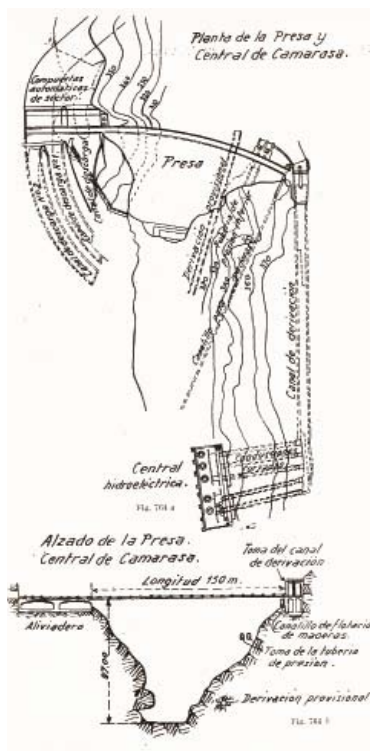
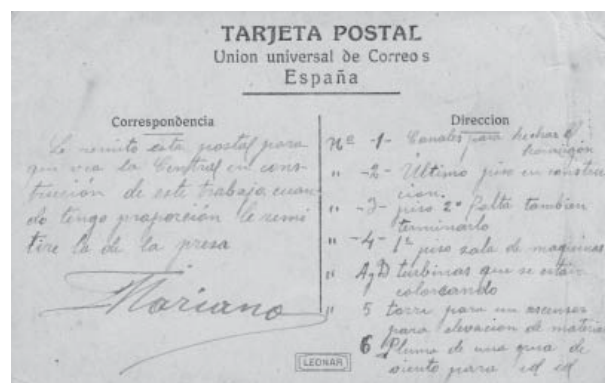
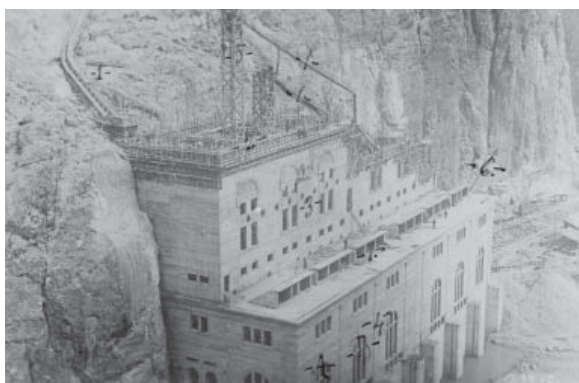


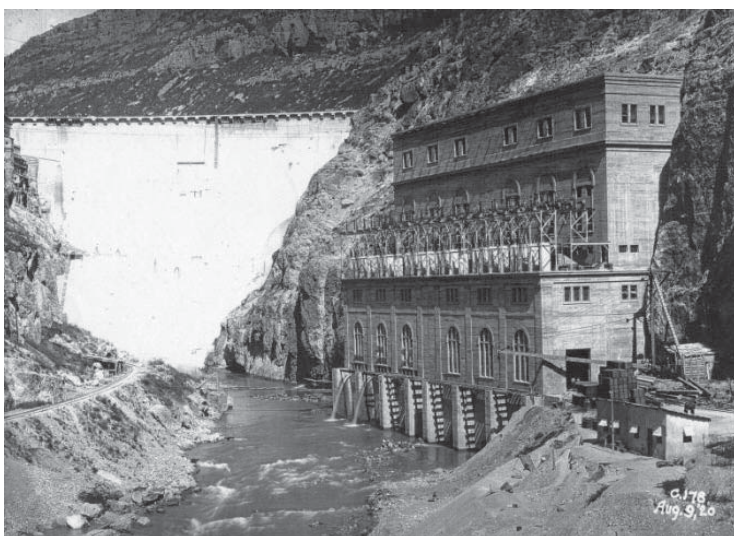
una segunda vía en túnel. El agua vierte directamente sobre la roca formando en ambos casos una imponente cascada artificial de más de 80m de altura. Precisamente para corregir el efecto erosivo de las avenidas al pie de presa de **Jándula**, es necesario posteriormente alargar el canal, rebajando también la altura del salto.

El caudal de diseño es de 2.000m³ en la Noguera Pallaresa y de unos 1.300m³ en el río Jándula. Sin embargo la falta de registros hidrológicos en el tributario del Guadalquivir propicia una solución que acaba resultando muy ajustada. La salida de este aliviadero no está regulado aunque es una opción estudiada durante el proceso de diseño. En cambio, en **Camarasa** se instalan par de compuertas de sector cilíndrico de 27 x 6m, que describen un movimiento basculante accionado por un dispositivo de regulación hidráulica del cuenco que las acoge. Pero lo más sorprendente es que están hechas en hormigón armado en base a una fina envolvente y tabiquería interior. Son el reflejo de una época de ensayo de las aplicaciones de este material, empleado hasta en la construcción de barcos y trenes.

La central hidroeléctrica de **Camarasa** se emplaza en la ladera izquierda, a una distancia de 300 metros de la presa. El potente edificio escalonado de hormigón armado acoge una batería generadores dispuestos sobre un eje paralelo al cauce del río, alimentados por tuberías a presión en galería. Para analizar la evolución en la disposición de la central en la presa de **Jándula**, conviene

Salto de Jándula y Camarasa con el
aliviadero en carga
Archivo General de la Administración /
Sociedad Española de Presas y Embalses





ahora retroceder en el extendido proceso de diseño hasta el proyecto presentado al gobierno en 1925 para la aprobación de la obra²⁸. En este documento la central ocupa una posición relativa similar a la de **Camarasa**, separándose 500m de la presa en la misma ladera izquierda. A pesar de no aportar datos sobre la volumetría del edificio, un primer proyecto de 1921 planteaba una nave de planta rectangular con grandes ventanales y cubierta a dos aguas.

A pesar de la presumible influencia de **Camarasa** sobre la solución propuesta en **Jándula**, ésta sólo puede ser entendida como el resultado de un proceso de análisis previo de distintas tipologías de presa²⁹ en el que acaba prevaleciendo el peso de la experiencia y la solución comprobada. La opción de materiales sueltos es desestimada por el buen soporte físico que ofrece la configuración de la cerrada. Se tantean otras soluciones en base a contrafuertes y bóveda, que finalmente también son descartadas por las dudas técnicas derivadas de la falta de referentes.

Las inquietudes del equipo de Carlos Mendoza son el reflejo de un período en el que la gran cantidad de propuestas teóricas publicadas indagando en nuevas tipologías contrasta con un

28 *Proyecto de construcción del pantano del Jándula en la Charca del Fraile para riegos y aprovechamiento de energía*, de 25 de octubre de 1925. Nicolás Carbajal Ballell ha reconstruido el proceso de diseño y obra de Jándula a través de planos inéditos. Carbajal Ballell, 2014, p. 27

29 Carbajal Ballell, 2014, p. 29

Tarjeta postal con anotaciones sobre el proceso de construcción de la estructura de hormigón armado de la central de Camarasa

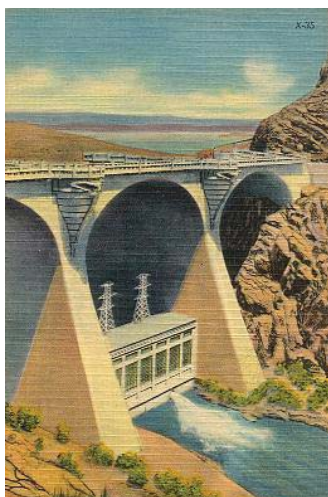
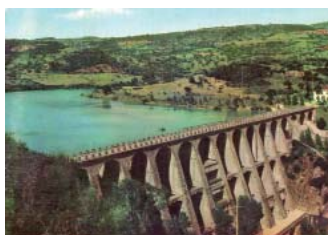
Colección Pep Callís

Planos generales de la presa de Camarasa y del salto del Jándula con las instalaciones auxiliares

Gómez Navarro, 1932, p. 909 / Archivo de la Comisaría de Aguas. Carbajal Ballell, 2014, p. 38

Central escalonada de Camarasa aguas abajo de la presa

Colección Paquito Gessé



Las primeras presas con central adosada. Tarjetas postales de Kernansquillec en Francia, Tirso en Italia y Coolidge en Estados Unidos
Cliché P. Cadoret / Terni Archeologia Industriale / Graphic Facts of America

panorama constructivo más conservador, monopolizado por la presa de gravedad. Una situación opuesta a la variedad tipológica practicada en Estados Unidos desde principios de siglo y que pronto iniciaran algunos países europeos como Italia, Francia o Suiza. En España, la experiencia en este sentido es casi inexistente. En 1924 la Compañía Sevillana de Electricidad había terminado la presa de **Montejaque** en el río Gadiuá, cerca de Ronda. Es la primera bóveda de hormigón importante, con una altura de 82m sobre cimientos, lamentablemente condenada al abandono por la extrema permeabilidad de la cerrada. Pero aún no habían empezado las obras de la bóveda de **Alloz** sobre el río Salado en Navarra, ni la primera presa moderna de contrafuertes de **Burgomillado**, en el río Duratón.

Antes de iniciar la construcción de la presa será necesario perfilar algunos aspectos que habían quedado indefinidos en el proyecto presentado al gobierno. Para esta última etapa, Mendoza incorpora al equipo de trabajo José Moreno Torres como futuro director de obra, Antonio del Águila Rada como calculista y Casto Fernández-Shaw³⁰. El ministerio de Fomento, por su parte, constituye la Junta administrativa del Pantano del Jándula³¹ para el conveniente seguimiento y control de la obra. La aprobación del proyecto por el gobierno en 1926³² viene condicionada a la introducción de una serie de modificaciones. La administración propone un perfil más robusto que permite aumentar el radio de curvatura de la planta, equiparándolo, como hemos visto, al de **Camarasa**. Pero quizá el aspecto más trascendental es la exigencia de que la central se adose al cuerpo de la presa sobre su eje.

Las presas con central interna son en aquel momento toda una rareza. Los casos existentes están directamente vinculados a nuevas tipologías más ligeras que ofrecen intersticios ocupables. Así se concibe la presa francesa de contrafuertes de **Kernansquillec**, terminada en 1923 con 16,45m de altura. En caso de bóvedas múltiples destacan **Tirso** en Cerdeña (1917-1923) y **Coolidge** en Estados Unidos (1926-1928), ambas superiores a los 70m de altura. Precisamente estos dos últimos proyectos son

30 Los dos últimos están trabajando también en el proyecto de la presa de Alcalá del Río. Carbajal Ballell, 2014, p. 37

31 *Gaceta de Madrid*, 27 de abril de 1926, pp. 551-552

32 Según la Real Orden de 27 de julio de 1926. Carbajal Ballell, 2014, p. 56

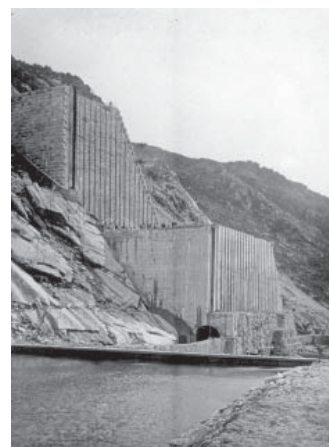
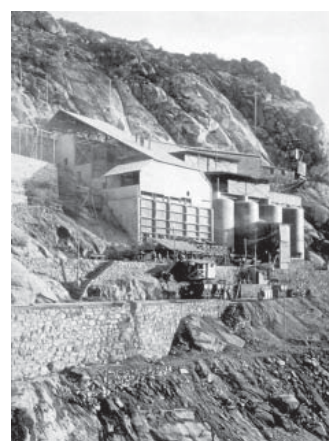
difundidos en la *Revista de Obras Públicas* coincidiendo con el proceso de diseño de **Jándula**.

En realidad no era necesario ir tan lejos. A la vuelta de la esquina, la Sociedad Hidroeléctrica del Chorro levantaba desde 1924 una presa muy peculiar con central interna y vertedero por coronación, **Gaitanejo**. La proximidad sería motivo suficiente para pensar que el equipo de Mendoza estaba informado de la obra. El promotor y proyectista de esta sorprendente instalación era Rafael de Benjumea, quien también formaba parte, como hemos visto, del accionariado de Canalización y Fuerzas del Guadalquivir. Por si fuera poco, José Moreno Torres, ingeniero del equipo de Mendoza, estaba casado con la hija del conde de Guadalhorce.

Pero esto no es todo; desde 1926 Rafael de Benjumea ostentaba el cargo de ministro de Fomento de Primo de Ribera. Él había constituido la junta de seguimiento que mantenía un contacto permanente con el equipo de proyecto de **Jándula**, estableciéndose una comunicación entre empresa y administración con interlocutores de semejante formación e inquietudes. Esto no prueba que la decisión de incorporar la central al cuerpo de presa se pueda atribuir en exclusiva a Benjumea, pero sí que lo posiciona como una persona cercana al proceso de diseño, abriendo así la posibilidad de que **Gaitanejo** fuera el germen de la solución finalmente adoptada en **Jándula**.

Durante el proceso de diseño se solapan diversas soluciones para la integración de la central a pie de presa. Una de ellas plantea una instalación yuxtapuesta con una finísima cubierta en forma de trampolín, acordada tangencialmente con el paramento de la presa. El reborde inferior sobresale de la fachada de la central dejando entender que la cubierta es también aliviadero, de forma análoga a lo que sucede en **Gaitanejo**. La delgadez de la estructura evidencia que esto no es posible, pero en la memoria se recoge que podría asumir esta función en caso de avenida durante las obras³³, como de hecho sucedió en 1930, la única vez que **Jándula** ha vertido por coronación.

Otra línea de trabajo plantea la central como un bloque macizo de superficies acordadas con el paramento. En el interior se abren galerías transversales abovedadas en distintos niveles,



Blondines para el traslado de material de las laderas a la presa

Instalaciones de grava, arena, *sand-cement* y hormigoneras en la margen izquierda

Cuerpo de la presa desde aguas arriba, ataguía y canal de desviación
Biblioteca Nacional

33 Carbajal Ballell, 2014

destinadas a la sala de generadores con apéndice para la zona de control, la zona de transformadores y dependencias laterales para escaleras o una estación de bombeo.

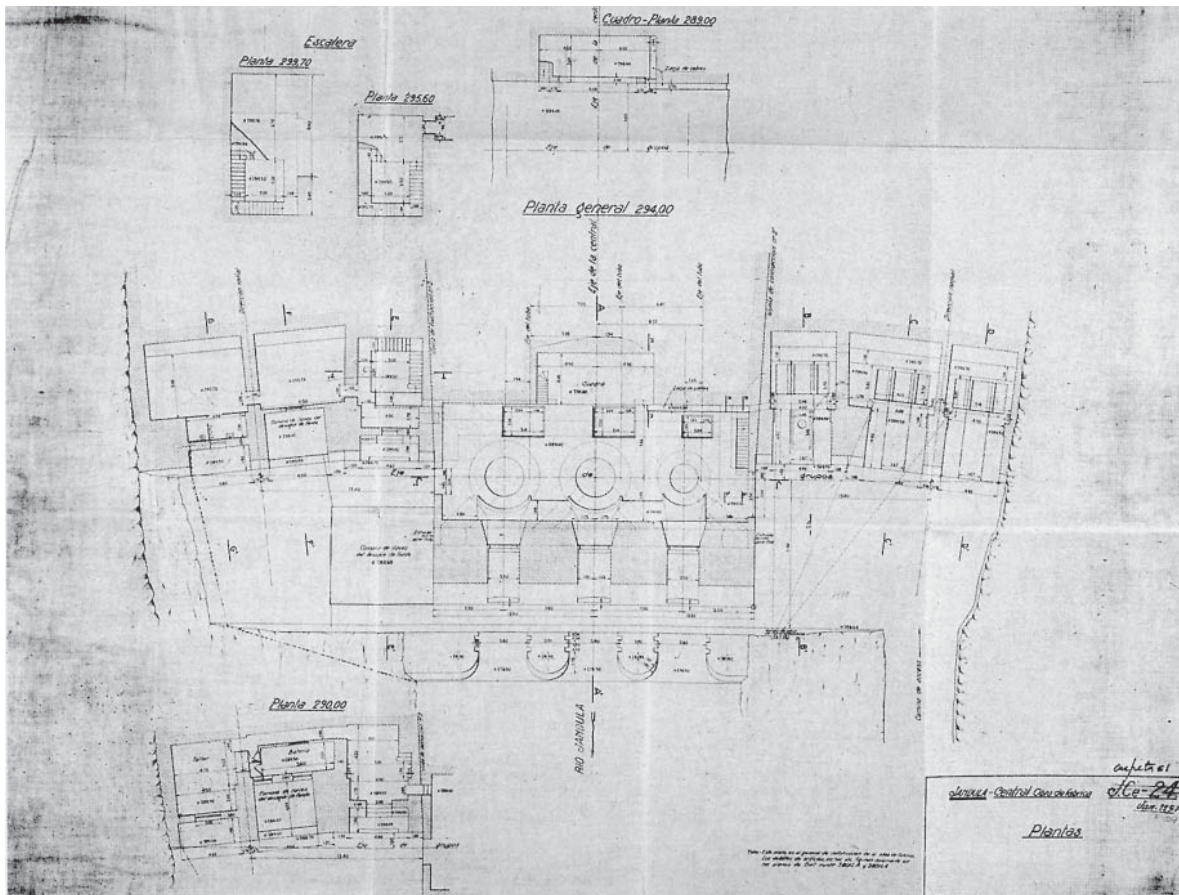
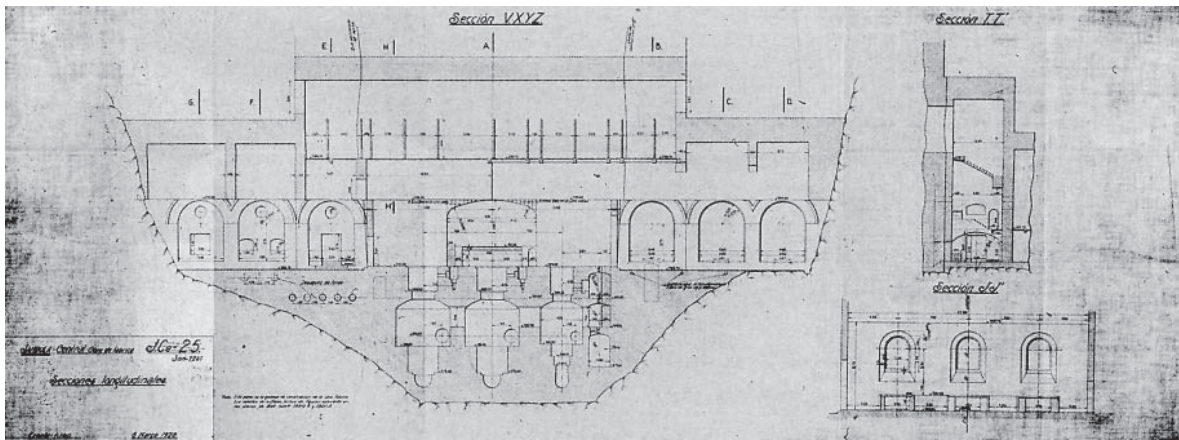
Compactar la instalación ofrece de repente una serie de ventajas. Permite suprimir las tuberías soterradas previstas para alimentar la central situada aguas abajo, con la consiguiente mejora del rendimiento de la maquinaria y la supresión de un capítulo entero del presupuesto. Tampoco es necesario hacer equilibrios para encajar un edificio en la inclinada ladera, al mismo tiempo que reduce el riesgo de desperfectos en las instalaciones causados por desprendimientos. Además, el complejo trazado de un mínimo de dos vías de acceso hasta el nivel del cauce queda simplificado con un único ascensor en cremallera desde el estribo izquierdo.

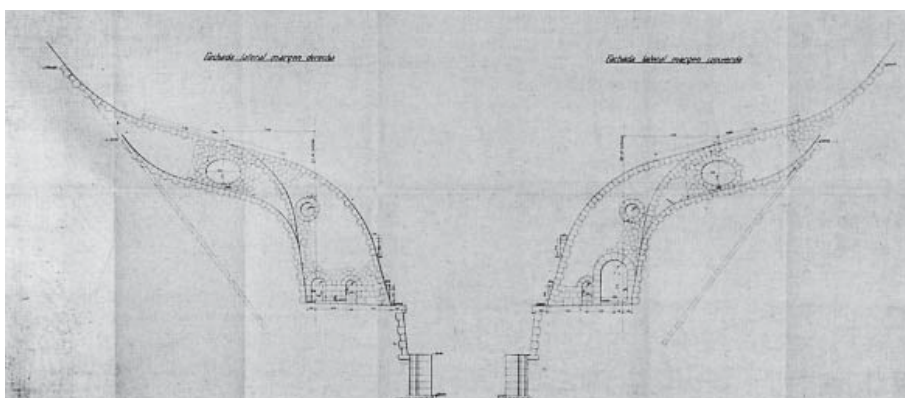
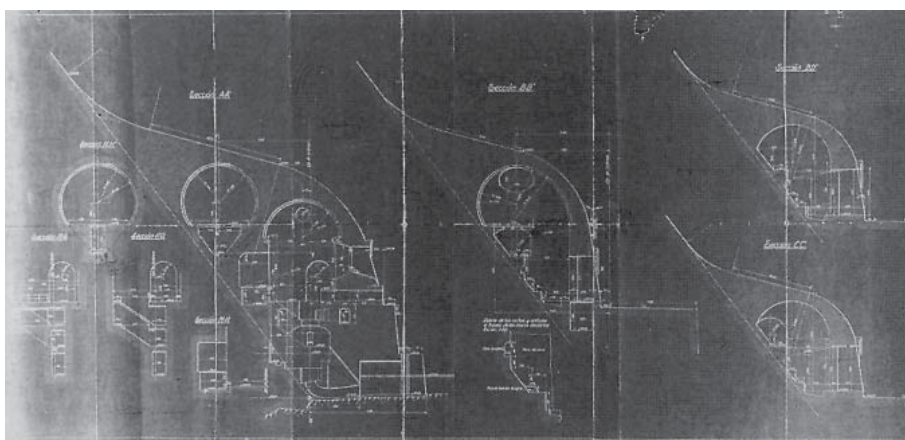
Esta es una decisión clave en el proyecto, a partir de la cual todo parece encajar mejor. Es una aportación sumamente novedosa que convierte una presa, hasta el momento convencional, en excepcional; la diferencia entre un buen proyecto y un proyecto brillante para el que son apropiadas las reflexiones de Luciano Yordi de Carricarte acerca la actitud del proyectista:

“Deseamos por esto que las futuras obras lleven el sello de la experiencia, el conocimiento y la audacia del hombre para confirmar una vez más que la memoria (experiencia) y la imaginación (conocimiento + audacia) son, en definitiva, formas esenciales del pensamiento que otorgan al hombre una de las armas para vencer a la Naturaleza.”³⁴

El resultado es la plasmación de un proceso de diseño complejo que, lejos de ser directo y lineal, es zigzagueante y permeable. La innovación, en lugar de ser un objetivo en si mismo, es el resultado de la insistente búsqueda de una respuesta audaz a unas preguntas bien planteadas. **Jándula** ilustra que la imaginación no es un garabato en una hoja en blanco sino la combinación y transformación de cosas existentes, es la suma de experiencia e imaginación, la presumible yuxtaposición de **Camarasa** y **Gaitanejo**.

34 Yordi de Carricarte, 1973, p. 592





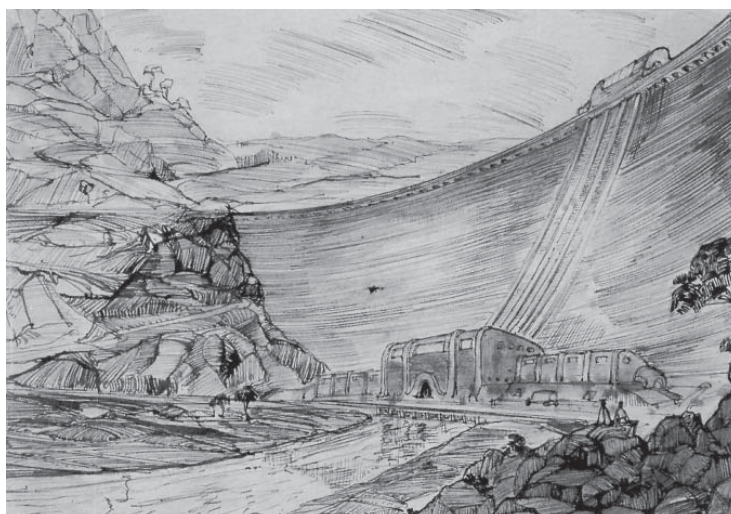
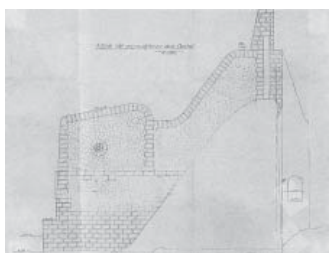
de la presa. Un camino paralelo al seguido en el diseño de las carrocerías de los vehículos, en la que las distintas partes acaban englobadas bajo un capó envolvente. En la primera, la central es un volumen físicamente separado como parece indicar la discontinuidad del remate de la cubierta. Se sitúa sobre el eje sobresaliendo entre dos cuerpos de menor altura. El dibujo induce a pensar que los paramentos apilastrados de las fachadas establecen una continuidad con la cubierta a través de aristas redondeadas, remitiendo a su pasión por las arquitecturas aerodinámicas.

Jándula tomará un camino distinto, pero esta primera versión se recupera para otro salto que el mismo equipo construye simultáneamente aguas abajo. **Encinarejo** es una presa de gravedad de planta recta con 33m de altura sobre cimientos y 170m de longitud de coronación terminada en 1932. Esta estructura parece una condensación de las ideas descartadas en su hermana mayor.

Planos de planta, sección longitudinal y secciones transversales de la central. 8 de marzo de 1928

Planos de alzados laterales de la central. 8 de junio de 1928

Fondo Histórico Endesa. García Pérez, Cabrero Garrido (ed.), 1999, pp. 49, 50



Se concibe como un gran paramento de vertido por coronación con la central adosada en el estribo derecho, del mismo modo que planteaba el primer diseño para **Jándula** de 1921. La central se separa del cuerpo de la presa liberando un patio resguardado para la salida de líneas. El característico muro de defensa lateral encauza la salida del aliviadero auxiliar, cuyo pórtico articula las distintas partes de la presa.

En la segunda vista para **Jándula** la central se desdibuja, camuflándose bajo un lienzo ondulado acordado con el paramento de la presa. Éste, a su vez, reconoce los distintos espacios interiores, de una forma análoga al mantel que recubre los muebles de un salón de palacio en horas bajas. Las protuberancias permiten reconocer una estructura de espacios interiores presidida por una galería de generadores avanzada sobre el eje, acompañada lateralmente por dependencias menores. La sala de transformadores mantiene una posición más alta y retrasada respecto la sala de máquinas, pero supera su anchura requiriendo además aperturas laterales para la salida de las líneas eléctricas.

La cornisa de remate es común en ambas propuestas, si bien en la primera forma un voladizo troquelado en la que se insertan lo que parecen cuatro grandes tuberías de alimentación de las turbinas. El cuerpo de coronación, desde el cual se operan las válvulas de toma, adopta en la originariamente una forma análoga a la central, trazado con formas aerodinámicas y presidido por un gran ventanal alargado. En la segunda propuesta el remate también

Alzado del muro de defensa de la central en la presa de Encinarejo
Fondo Histórico Endesa. García Pérez, Cabrero Garrido (ed.), 1999, p. 46



recoge los cambios introducidos en la central, dibujándose con un paramento frontal de perfil curvado que interrumpe la línea de cornisa y le otorga mayor relevancia en la composición. Queda aquí coronado por torreones en las esquinas que permanecen en la solución finalmente construida, que incorpora un gran balcón.

La presencia del balcón o del mirador es un aspecto que se repite en **Alcalá del Río**, y especialmente en **El Carpio**, aquí sustentado por una cabeza de elefante como metáfora de la potencia de la nueva industria hidroeléctrica, donde caballo de vapor es sustituido por el elefante de vapor. Es un elemento que dota al conjunto de una referencia a la escala humana, invocando de alguna manera al titán que con sus espaldas soportaba la presa del *Monumento al Triunfo de la Civilización*. La vía de coronación cruza la torre a través de dos grandes aperturas de medio punto, a modo de arco triunfal, otra constante en el resto de intervenciones.

La coherencia formal del lenguaje utilizado en la primera versión, empieza a contaminarse con tñes historicistas en la segunda y especialmente en la definitiva. De algún modo, más que en cualquier otra presa, aquí condensan los distintos intereses del autor. Por un lado, una fascinación por las formas aerodinámicas relacionadas con la velocidad y la energía, posteriormente adaptadas para una urbe acorazada a prueba de bombardeos. Del otro, la pasión y el interés por la arquitectura histórica y popular. No en vano, Casto Fernández-Shaw es miembro fundador de la Asociación Española de Amigos de los Castillos.

Perspectivas de Casto Fernández-Shaw correspondientes a un estadio intermedio del proyecto y la solución definitiva

Archivo Concepción Fernández-Shaw.
García Pérez, Cabrero Garrido (ed.), 1999,
p. 48



Torre de coronación y central bajo el paramento ondulado

Fotografía Juan Carlos Cazalla Montijano. Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico / Fotografía Luis Lladó Fábregas. Archivo del Centro de Ciencias Humanas y Sociales, Consejo Superior de Investigaciones Científicas, Fondo

En **Jándula** se repite una arquitectura basada en el collage, como en el *Monumento al Triunfo de la Civilización*, en la que se combinan formas aerodinámicas con otras que remiten a civilizaciones pretéritas, substituidas aquí por referentes a una cultura arquitectónica autóctona. Esta mezcla tiende un hilo de continuidad entre las grandes obras históricas con las construcciones del presente, y en las que el arquitecto se erige como el perfil adecuado para aunar los aspectos técnicos y los valores simbólicos.

Es interesante observar los distintos niveles de lectura que admite el remate de **Jándula** para comprender esta forma de proyectar. La clara imagen de torre del homenaje que transmite desde lejos y desde aguas abajo cambia con una mirada más atenta. Se descubre en este momento, que la figura icónica está compuesta de elementos aparentemente irreconciliables, como si se tratase de una construcción en papel hecha con trozos de distintos recorribles. El trabajo de collage con el que se resuelve la concepción global es presente hasta las últimas consecuencias. Aguas arriba, la torre abre nueve óculos circulares que nada tienen que ver con el balcón de la cara opuesta. La de aguas abajo es revestida en sillares de granito, un tratamiento que continua como remate de la cubierta, de una forma análoga a la propuesta aerodinámica de la primera central. Los planos laterales, en cambio, se construyen con un apareo de mampostería concertada, desdibujando la aparente solidez del volumen.

De hecho, no es más que la extensión del recurso utilizado en las superficies onduladas que recubren la central. Los paramentos frontales utilizan el mismo despiece de sillares que el resto del cuerpo de la presa, en cambio los laterales se construyen en mampostería concertada de forma poligonal. El detalle constructivo que simplifica el encuentro de los distintos aparejos responde también a la voluntad de desmaterializar el plano del paramento.

El conjunto evoca una especie de arquitectura soplada, sometida a una presión interior que da forma a una superficie blanda, posteriormente cristalizada. Así sucede con la central de **El Carpio** en la que frente a las paredes de bloque de cemento se alzan unas tensas cúpulas blancas. Lo curioso del caso es que en ninguna de las versiones del proyecto de **Jándula** conocidas, las tuberías discurren por el extradós del paramento con lo que este moldurado de la primera versión viene a ser un guiño al funcionamiento de la central. Tampoco se había previsto en



ningún momento un vertedero por coronación que justificase las superficies hidrodinámicas de la solución final. Son recursos plásticos que acentúan la verticalidad del conjunto en un caso y el dinamismo en el segundo. Por encima de todo, es la expresión de un proceso de indagación en la naturaleza de la presa, tratada con destreza y sentido del humor.

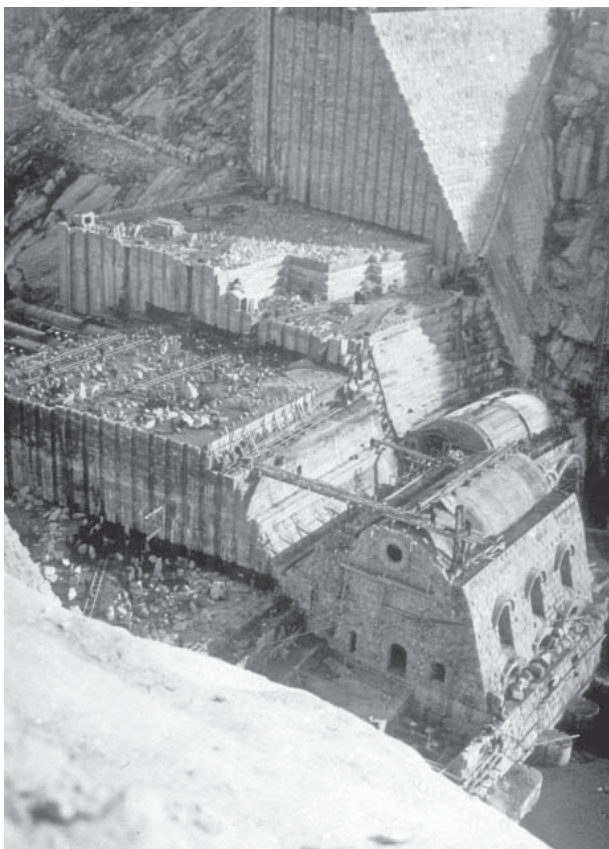
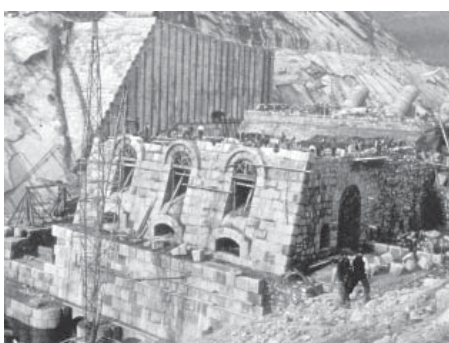
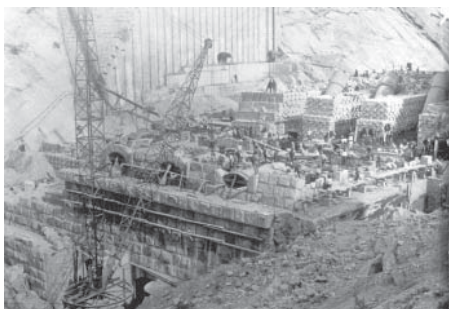
Si Sant'Elia se esforzaba en formalizar ciudades enteras con forma de presa como símbolo de la nueva sociedad, en **Jándula** hay un esfuerzo patente en exteriorizar la razón de ser de la instalación. En este sentido podemos ver la solución final como el resultado de avanzar en la misma línea. La presa ya no se formalizará aludiendo al funcionamiento de la central si no recabando en el principio básico de la presa, que como el titán sustenta 350hm³ de agua a sus espaldas.

Utopía y realidad

Con las obras de **Jándula** cerca de su finalización, Casto Fernández-Shaw funda en 1930 la revista *Cortijos y Rascacielos*³⁵. Es un repositorio de proyectos e ideas que reflejan su amplio abanico de intereses frente a líneas editoriales más encauzadas y excluyentes. Es una ventana abierta a la arquitectura de vanguardia y a la histórica, sea ésta ilustrada o popular. Pocas obras de su carrera como las presas en la cuenca del Guadalquivir aglutinan estos dos mundos aparentemente opuestos, combinando lo pesado con lo fluido, lo estático con lo dinámico, lo horizontal con lo vertical, la fortaleza con la central energética, la evocación a las arquitecturas

Proyecto de ciudad acorazada y acuarela del castillo de Manzanares el Real de Casto Fernández-Shaw
Cortijos y Rascacielos, 1944, núm. 25, portada
/ Archivo Concepción Fernández-Shaw.
García Pérez, Cabrero Garrido (ed.), 1999, p. 279

35 Entre 1930 y 1954 publica 80 números de *Cortijos y Rascacielos* de forma ininterrumpida



antiguas con el monumento a la electricidad.

Cortijos y rascacielos también entraña dos tipos de proyectos, los posibles y los soñados. Gracias a otro soñador como Carlos Mendoza, Casto podrá colaborar en el proyecto de una de las primeras presas móviles del país y en una de las primeras con central adosada. Como él mismo afirma, es un cauce para expresar su forma de entender el mundo pero también una oportunidad de aprendizaje:

“El arte y la técnica habían triunfado esta vez. Mis fantasías empezaban a convertirse en realidades, mi parte imaginativa se encauzaba por derroteros prácticos, mi educación profesional al lado de los ingenieros hacía que cada vez me marcara una mayor disciplina en mi profesión.”³⁶

Construcción simultánea del cuerpo de la presa y la central entre 1928 y 1929

Biblioteca Nacional

36 “Autobiografía”. En: García Pérez, Cabrero Garrido (ed.), 1999, p. 268



Gracias a Fernández-Shaw, las obras de la compañía trascenderán el aspecto técnico, manifestando poéticamente las ideas que en ellas subyacen. Es un último eslabón por el cual una infraestructura brillantemente resuelta asume la responsabilidad de interpelar directamente al ciudadano. Es una obra de “ingeniería total”, una puerta abierta a su razón de ser, que aún a día de hoy es capaz de transmitirnos los sueños que la energía representaba en aras a la domesticación de la naturaleza y a una mejora de las condiciones de vida. Sólo la mezcla de los sueños con la experiencia y la imaginación convierten la utopía en realidad, condensando en una de “las grandes conquistas de la Idea vencedoras del tiempo y de la muerte.”³⁷

37 Fragmento de los versos de su padre Carlos Fernández Shaw, poeta y escritor, que inspiran el *Monumento al Triunfo de la Civilización*. “Autobiografía”. En: García Pérez, Cabrero Garrido (ed.), 1999, p. 267

Presa de Jándula desde aguas abajo
Fotografía Juan Carlos Cazalla Montijano.
Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico



Comprendiendo la cerrada de la
Charca del Fraile
Fotografía Eduardo Hernández-Pacheco.
Martín Pérez, Fernández-Palacios
Carmona, Sancho Royo, 2013, p. 76

Contrafuertes

Estanque de Guadalupe

Presa de contrafuertes de 90 metros de altura

Alcántara II

¿Por qué el ingenio de los proyectistas se esfuerza una vez y otra vez sin desmayar, rebuscando una solución diferente, más complicada y tal vez menos segura?

Se esfuerza y se esforzará siempre, por fortuna, porque hay un convencimiento intuitivo en muchos ingenieros, de que la presa de gravedad es demasiado cara; de que ha de encontrarse, sin duda, mejor solución, por más barata, al problema, sin que deje de alcanzarse suficiente seguridad. La rutina nos convida a descansar en la fácil propuesta de la solución resobada; pero el afán de progresar, que no muere, nos impele a tantear soluciones más racionales que ese monolito ingente que, a fuerza de pesantez, no se deja remover por el empuje del agua.

Emilio Azarola¹

Menos del 3% de las presas españolas son de contrafuertes -y un 5% de bóveda- frente al 60% de gravedad². Figuran entre las más antiguas del país, construidas por los romanos, algunas de las cuales siguen en funcionamiento a día de hoy. A pesar de ello, es difícil establecer una línea evolutiva continuada más allá de un encadenamiento de familias de proyectos. Y es que el trabajo con esta tipología tiene lugar en períodos o ámbitos geográficos concretos, condensando ocasionalmente en variantes específicas.

La orden Jerónima se establece en el Monasterio de Santa María de Guadalupe tras la real provisión expedida por Juan I de Castilla en 1389. La congregación incorpora miembros procedentes de familias nobles y cultas, constituyendo pronto un destacado foco cultural. Reflejo de ello son los tres hospitales

¹ Azarola Gresillón, Emilio. "Presa de hormigón armado reticulada". *Revista de Obras Públicas*, 1928, núm. 2492, p. 4

² *Inventario de Presas y Embalses*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015



que tenía el monasterio, que además contaba con una escuela de medicina y cirugía. Llegó a disponer una superficie de 33.000ha de terreno cultivable y más de 40.000 cabezas de ganado. En el campo de las infraestructuras, se dotó de una red de agua potable y levantó la presa-molino del **Estanque de Guadalupe**, como epicentro de la actividad económica.

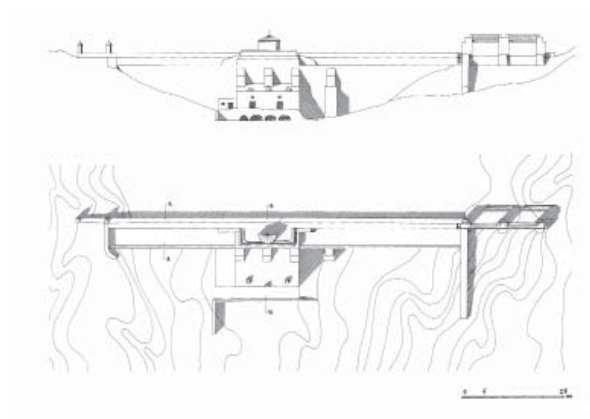
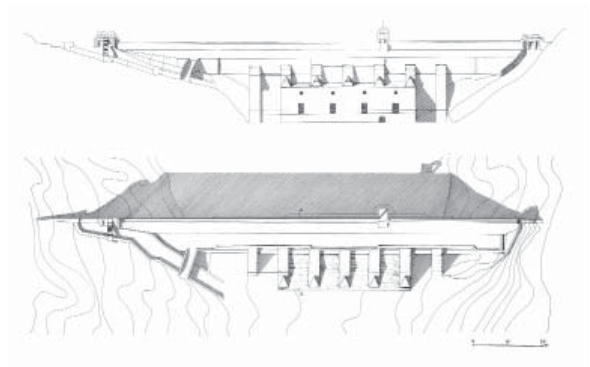
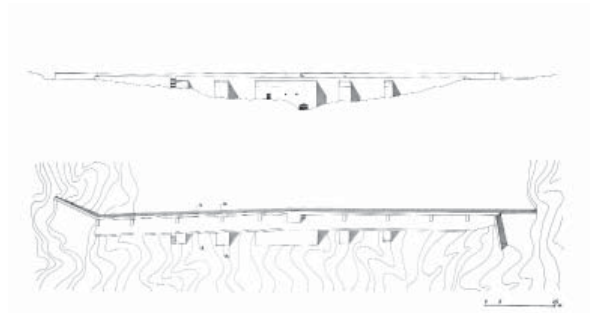
Esta es la primera y más compleja del conjunto de 26 presas antiguas extremeñas construidas entre los siglos XV y XVIII, tres cuartas partes de las cuales son de contrafuertes. Hasta su catalogación y puesta en valor en los años ochenta por José Antonio García-Diego³, se consideraba como pionera la **Albuhera de San Jorge**, proyectada por Sancho de Cabrera y Francisco Becerra, cuyas obras se alargaron desde 1572 hasta 1690. Durante cuatro siglos se repitió en Extremadura un modelo similar, basado en una presa de mampostería con contrafuertes, generalmente dotada de un molino adosado que garantiza la estabilidad. Esta descripción genérica requiere una matización, ya que algunos paramentos deberían considerarse de gravedad atendiendo a su escasa esbeltez⁴. Son instalaciones equipadas normalmente con

Presa del Estanque de Guadalupe desde aguas abajo
Fotografía David Fernández-Ordóñez.
García-Diego, 1994, p. 143

Presas Albuhera de San Jorge, Albuhera de Feria y Zalamea la Serena
Fotografía Jesús López / Fotografía Paco Campos / Aguiló Alonso, 2002, p. 43
Fernández Ordóñez (ed.), 1984, pp. 221, 331, 348

3 El ingeniero de Caminos, Canales y Puertos, José Antonio García-Diego (1919-1994) compagina el ejercicio profesional con una intensa actividad de investigación en el campo de la historia de la técnica, dedicando una atención especial a la ingeniería hidráulica. Entre sus aportaciones, destaca la transcripción del manuscrito *Los Veintiún Libros de los Ingenios y Máquinas* de Juanelo Turriano, el estudio de la vida y obra de Joaquín de Betancourt o la investigación exhaustiva de las presas antiguas extremeñas. En 1987 crea la Fundación Juanelo Turriano para la promoción y difusión del estudio histórico de la ciencia y de la técnica, especialmente de la historia de la ingeniería

4 Schnitter, 2000, p.134





Presas de contrafuertes mejicanas de Natillas y San Blas

Díaz-Marta Pinilla, 1997, p. 25 / Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2003, p. 242

Planta, alzado y perfiles de la presa de Proserpina y paramento desde aguas arriba durante unos trabajos de conservación

Fernández Ordóñez (ed.), 1984, p. 27 / Fotografía Fernando Aranda Gutiérrez

Presa romana de Esparragalejo desde aguas abajo

Fotografía Nicholas J. Schnitter. Schnitter, 2000, p. 83

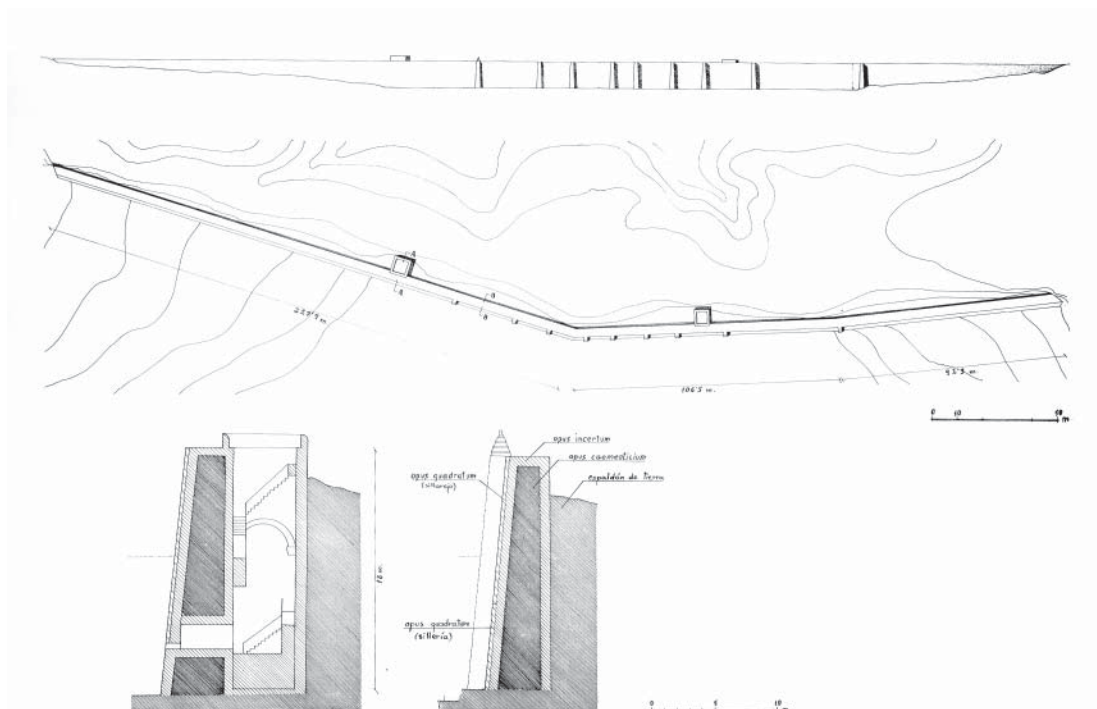


aliviaderos laterales, permitiendo en raras ocasiones el vertido por coronación. Tienen una altura comprendida entre 4 y 24m, una longitud entre 41 y 446m y una capacidad de embalse escasa, muy por debajo de un hectómetro cúbico.

Entre este conjunto, las obras más altas y también más refinadas son la **Albuhera de Feria** y **Zalamea la Serena**, finalizadas ya en el siglo XVIII, con 24 y 17m de altura respectivamente. Son presas totalmente ajenas a las que se construían por aquel momento en el resto del país, lo que sería atribuible según García-Diego al progresivo aislamiento de la región respecto los centros de poder, de formación o industriales. No obstante, los extremeños se encuentran en gran número entre los expedicionarios al nuevo continente, entre ellos el mismo Francisco Becerra⁵. Esto explicaría la exportación del modelo a Méjico, donde a mediados del siglo XVIII se construye un conjunto de presas de contrafuertes similar, pero sin molino. Es representativa en Guanajuato la presa de **La Olla** y al norte de Aguascalientes **Arquitos**, **San Blas**, **San José** o **Natillas**, esta última con el aspecto peculiar que le atribuye la mampostería a base de bolos.

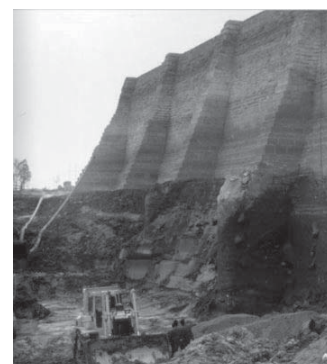
La construcción romana incorpora arcos y bóvedas para techar espacios. El contrafuerte será la otra cara de la moneda, la forma de reforzar un muro para transmitir los empujes horizontales a la base. Es un elemento que aparece en cualquier tipo de construcción, sin distinción entre edificios o obras de

5 El arquitecto Francisco Becerra (1545-1605) es el autor de las catedrales de La Puebla en Méjico y de Lima, entre otros edificios y construcciones civiles como puentes y fuertes



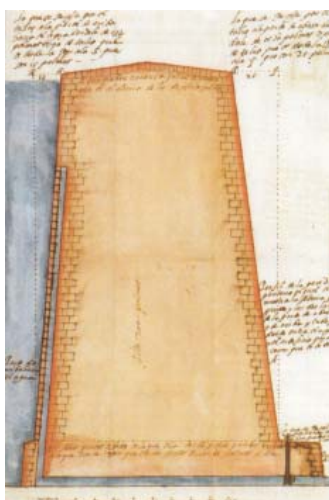
ingeniería civil. Las presas no son una excepción y las realizadas en Hispania constituyen el antecedente directo del **Estanque de Guadalupe**. El pantano de **Proserpina**, presumiblemente construido alrededor del cambio de era⁶ para el suministro de Augusta Emerita, y también **Alcantarilla**, se construyen con un muro de mampostería que asume la función de pantalla impermeable, completado con un espaldón de tierras aguas abajo. Aunque no se pueden considerar netamente presas de contrafuertes, estos elementos desempeñan un papel esencial para la estabilidad el conjunto; se sitúan en el paramento aguas arriba para contrarrestar el empuje de las tierras cuando el embalse está vacío.

Es **Itundurruz** el caso más clarividente de presa romana de contrafuertes, ya que su delgada pantalla no se entendería sin la presencia de estos elementos. En el resto de ejemplos del mismo período, en cambio, los contrafuertes se pueden considerar un refuerzo adicional a un muro de gravedad⁷, del mismo modo



6 Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2003, p. 57

7 Como sucede en las presas de muro de fábrica con contrafuertes de Consuegra, Araya, Vega de Santa María, Muro u Olimpo. Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2003, p. 121



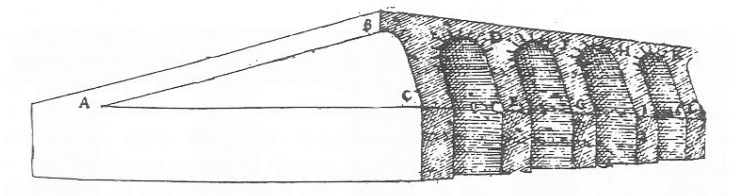
Presa de Tibi con cuerpo de arco
gravedad según solución de Cristóbal
Antonelli
Gil Olcina (ed.), 2004, pp. 280-281

Plano de la propuesta alternativa
de Juan de Herrera con estructura
de contrafuertes, fechado
aproximadamente en 1587
Archivo de la Corona de Aragón

que sucede en muchas de las antiguas presas extremeñas. Podría ser incluso, que en algunos casos se añadieran a posteriori para corregir el comportamiento de la obra. Otro caso singular de la ingeniería de presas romana es **Esparragalejo**, situada también cerca de Mérida. Es una estructura de 320m de largo y 5,60m de altura, dotada de un paramento central con arcos de medio punto rebajados entre contrafuertes. A pesar de tener una pantalla relativamente gruesa, de unos 2m, invita a verla como una sucesión de bóvedas de eje vertical apoyadas sobre muretes⁸. Su aspecto, desfigurado en una intervención de 1959⁹, se asimila a un puente tumbado.

8 Esta idea se refuerza en el caso de Almonacid de la Cuba, que estudios recientes le atribuyen un origen romano. Se habría concebido como una estructura de 130m de coronación y 34m de altura, supuestamente formada por tres grandes arcos entre contrafuertes. Esto la convertiría en la presa más alta del mundo en su momento y la más alta en España hasta la terminación de Tibi a finales del siglo XVI. Díez-Cascón Bueno, 2003, p. 81

9 Carlos Fernández Casado denuncia el menosprecio del trabajo de reconstrucción de Esparragalejo, que reviste los restos de mampostería engrosando el perfil y acentuando y regularizando la curvatura de los paramentos. Fernández Casado, 1983, p. 141



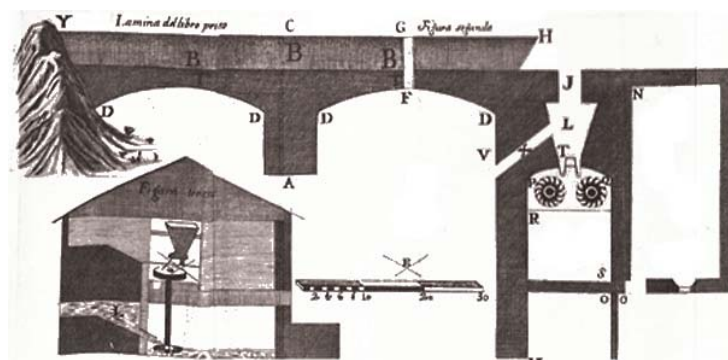
Ya en el siglo XVI, Pere Esquerdo y el maestro Alcaraz proponen al municipio de Alicante el levantamiento de una presa en el río Montnegre para el riego de la huerta. Tras el permiso otorgado por Felipe II, las obras de **Tibi** se inician en 1580 con el proyecto de Esquerdo. Sin embargo, habiendo alcanzado los 6m de altura un año después, la construcción queda parada y la ciudad requiere la intervención de los ingenieros reales. La contienda termina en 1594 con una estructura de gravedad de planta ligeramente curvada y 46m de altura de la mano de Juan Bautista Antonelli y su hijo, Cristóbal Antonelli. Probablemente, la forma del paramento se deba a una intuición sobre la mejora del comportamiento resistente a través de la movilización del efecto arco. Profundizando en esta línea, es aún más atrevida la propuesta para la misma presa de Juan de Herrera, que formaliza un paramento con cuatro bóvedas de un grosor de 20 a 30 palmos entre largos contrafuertes.

Pocos años antes del estudio de Juan de Herrera para **Tibi**, el códice *Los Veintiún libros de los ingenios y de las máquinas de Juanelo Turriano*¹⁰, recoge una propuesta de presa de arcos entre contrafuertes con un planteamiento más avanzado. La mejora reside en la inclinación del paramento aguas arriba, de forma que la carga de agua contribuya a la estabilidad del conjunto. Es un aspecto definitorio del perfil de los paramentos concebidos según esta tipología, especialmente a partir de principios del siglo XX. Pero también es una característica presente en las presas construidas por Pedro Bernardo Villarreal de Bérriz el primer tercio del siglo XVIII. **Bedia**, **Ansótegi**, **Barroeta**, **Arencibia** y **Laisota** en Vizcaya y **Liérganes**¹¹ en Cantabria son estructuras de uno a cinco

10 Nombre que adopta en España el científico Giovanni Torriani (ca.1500-1585), originario de Cremona. Al servicio del monarca Carlos V concibe una obra de ingeniería mecánica e hidráulica emblemática, el sistema de abastecimiento de agua a Toledo conocido como el "Artificio de Toledo"

11 La presa de Liérganes se construye posteriormente, pero sigue estrictamente los

Presa de bóvedas múltiples según Juanelo Turriano
Turriano, 1996, p. 282



arcos convexos hacia aguas arriba, con el paramento anterior inclinado. La arquería estriba en contrafuertes separados entre los 9m y 14m. A pesar de su altura discreta, que no supera los 5m, destacan por la excelente ejecución y especialmente por ser fruto de un proceso de racionalización. Los criterios de diseño se explican con todo lujo de detalles en *Máquinas hidráulicas de molinos y herrerías y gobierno de los árboles y montes de Vizcaya*. Es un documento, escrito de forma llana por el mismo Villarreal de Bériz, pensado como un manual para la mejora de las explotaciones agrícolas y forestales. En el segundo capítulo del primer libro titulado “De las presas en arco, de invención del Autor, con toda la forma de su construcción” anticipa la principal ventaja frente a las estructuras tradicionales:

“Ya se ha dicho como son las Presas antiguas de Vizcaya: y aunque son hechas segun arte, y buenas reglas, y no se pueden reprobear, hallo fer mas seguras, firmes, y de menos coste las de arco, como se demostrará.”¹²

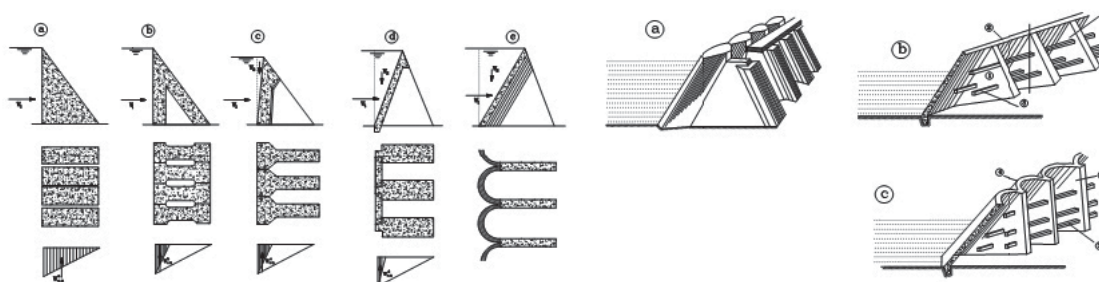
Movilizar la forma para aumentar su capacidad resistente conduce, como argumenta Villarreal de Bériz, a una obra de menor coste. Pero esta decisión también se sustenta en un posicionamiento ideológico, especialmente presente en los proyectistas del primer tercio del siglo XX. Hay una inquietud para hacer construcciones más eficientes, es decir, conseguir el mismo propósito con menor cantidad de material. En esta contienda hacia la obra

Plano de una presa-molino que ilustra el libro *Máquinas hidráulicas de molinos y herrerías y gobierno de los árboles y montes de Vizcaya* Villarreal de Bériz, 1736

Presa de Barroeta construida por Pedro Bernardo Villarreal de Bériz
Fotografía José María Izaga

criterios definidos por Villarreal de Bériz

12 En esta tesis, las citas son reproducidas directamente, sin corrección ortográfica. Villarreal de Bériz, 1736, p .8



de mínimos, la forma -como se organiza la materia- es esencial.

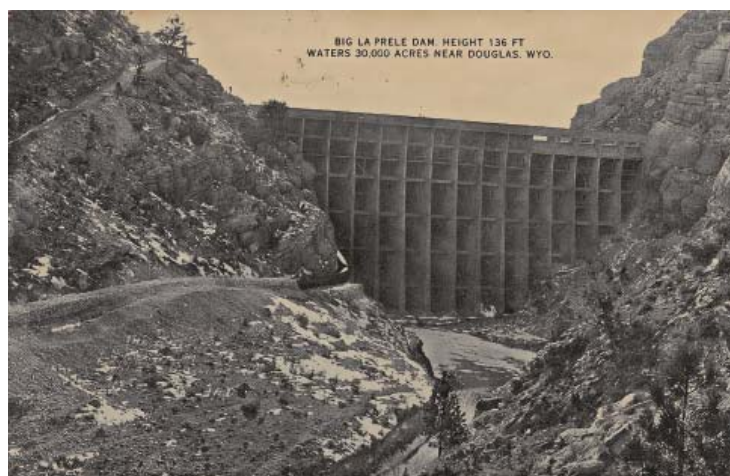
No es de extrañar que, en este contexto, el tipo de presa de contrafuertes sea visto como candidato a sustituir la hegemonía de los paramentos de gravedad¹³, aprovechando las ventajas de la forma y las posibilidades que abre el trabajo con hormigón, hormigón armado e incluso acero. Los intersticios huecos suponen un evidente ahorro de material a pesar del aumento del coste del encofrado, y conllevan además una serie de ventajas técnicas como facilitar la evacuación de filtraciones por el cuerpo y los cimientos limitando las subpresiones y permitir una mejor disipación del calor de fraguado.

El ingeniero e historiador Nicholas Schnitter¹⁴ sintetiza la evolución entre las distintas familias de presas de contrafuertes como una secuencia de aligeramiento progresivo, desde el paramento de gravedad hasta la pantalla plana o los arcos múltiples. La pérdida de masa en cada eslabón del proceso se compensa con una cara anterior más tendida. Pero el camino recorrido en realidad no es tan lineal, ya que a principios años del siglo XX se pasa directamente a las variantes más ligeras, primero en Estados Unidos con alturas relativamente bajas y posteriormente en Italia y Francia. El envejecimiento prematuro de las estructuras delgadas sumado al aumento de la altura a resolver, la revisión de los parámetros de seguridad y el encarecimiento progresivo de la mano de obra, centrarán esta “escala evolutiva” en un eslabón intermedio, liderado esta vez por técnicos italianos y suizos.

13 Martín Alonso, 1933, p. 372

14 La publicación *Historia de las presas: las pirámides útiles* ofrece una visión global sobre la evolución tipológica de los distintos tipos de presas en todo el mundo. Schnitter, 2000, p. 198

Esquema evolutivo de las presas de contrafuertes a partir de las de gravedad según Nicholas J. Schnitter Schnitter, 2000, p. 198



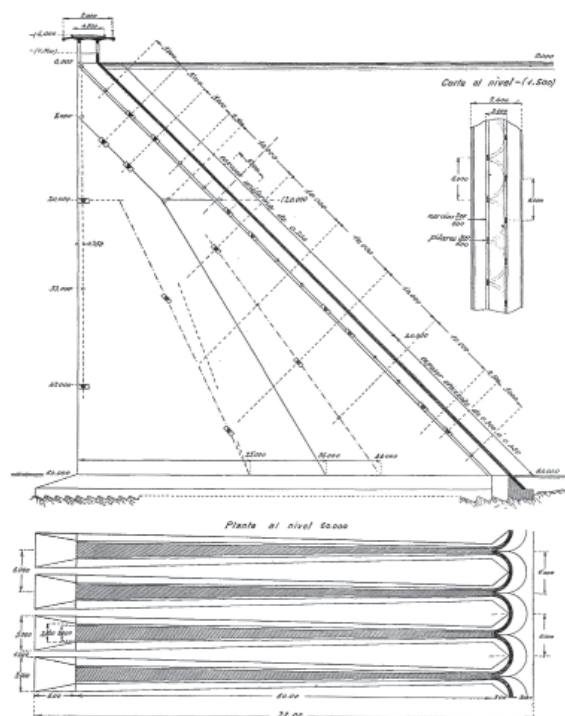
Para dar este salto al vacío, desde la presa de gravedad hasta la mínima expresión de una estructura de contrafuertes, conviene primero reflexionar sobre las funciones básicas a resolver, para después encontrar un camino alternativo que las satisfaga. Las palabras de Emilio Azarola en relación a su proyecto de *Presa de hormigón armado reticulada* sintetizan esta forma de proceder:

“La primera ocurrencia que se viene a las mientes para formar una estructura compuesta que cierre un valle es constituir una pantalla impermeable y mantenerla contra la masa de agua por medio de contrafuertes espaciados, paralelos y más tendidos en sentido normal al empuje que una simple presa maciza.”¹⁵

Según esta sencilla idea, la presa se compone de dos elementos; uno debe garantizar la estanqueidad del vaso y el otro asume la responsabilidad estructural. Las presas metálicas ilustran a la perfección esta separación conceptual de funciones y la reducción a mínimos del material empleado. Construidas a principios del siglo XX, principalmente en Estados Unidos, se basan en un entramado de perfiles de acero que sustenta una pantalla de láminas convexas hacia aguas arriba. Este sistema pronto competirá con una versión similar realizada en hormigón armado. Las nuevas posibilidades que ofrece este material

Presa de Le Prele en Estados Unidos
en una tarjeta postal
Colección Richard Finley

15 Azarola Gresillón, 1928, p. 4



serán desarrolladas por el ingeniero de origen noruego Nils F. Ambursen quién patenta un sistema de presas de pantalla plana y contrafuertes.

Su compañía levantará hasta 200 presas en las primeras dos décadas del siglo en Estados Unidos. La presa de **Le Prele**, también conocida como Douglas, construida en 1909 al este de Wyoming y destinada a riego, supone un récord de altura de 41m, pero sobretodo representa el afianzamiento del tipo. El corto plazo de construcción y el ahorro de un 43% de hormigón en relación a una presa de gravedad¹⁶ es la mejor carta de presentación al inversor.

Los ingenieros españoles observan con atención lo que sucede en los países más avanzados. Muestra de ello es el interés de Juan Manuel Zafra, pionero en el estudio del hormigón armado, en desarrollar las aplicaciones de este material en el campo de las presas. Así lo expone en una conferencia que imparte en 1912:

Estudio de modificación de la presa
Le Prele por Juan Manuel Zafra
Zafra Esteban, 1912, p. 158

16 Schnitter, 2000, p. 205

“Demostrar lo que verdaderamente es hoy día el hormigón armado, exponer *cómo se puede y cómo se debe* manejar, científica, rigurosa, jamás rutinariamente, con tanta precisión como se maneja el material que más seguro parece, el acero; y como muestra de ello aplicarlo concretamente á la realización de un muro de embalse de gran altura, tal es mi objeto.”¹⁷

En la conferencia toma como ejemplo la presa de **Le Prele** y argumenta una serie de modificaciones en su diseño para adaptarlo a una construcción de más de 60 metros de altura. Su propuesta sustituye la pantalla plana, con grosores de hasta 1,37m, por una sucesión de arcos delgados. El resultado forma parte de otra tipología vinculada a los contrafuertes, que en Estados Unidos ya está compitiendo con las de pantalla plana y empieza a implementarse en Europa: la presa de bóvedas múltiples. **Hume Lake**, con 20m de altura, es el primer ejemplo de este tipo realizado en hormigón armado, terminado en 1908 en las montañas de Sierra Nevada según un diseño de John S. Eastwood.

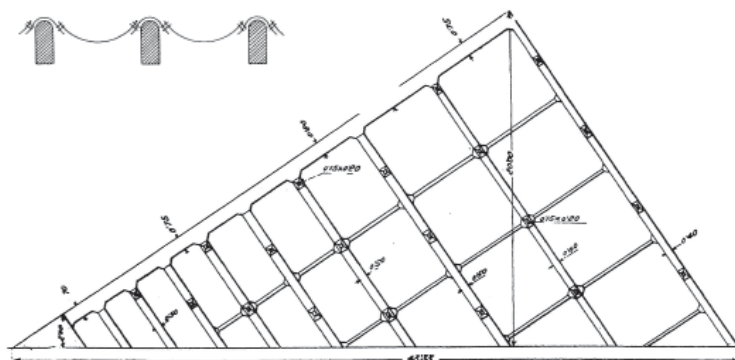
En 1917, Alfonso Peña Boeuf¹⁸ presenta en público el **Proyecto de presa de contrafuertes de 90 metros de altura**¹⁹, una estructura pensada para el río Duero en su paso por cañón de las Arribes. El proyecto plantea una presa de bóvedas múltiples, como la reciente propuesta de Juan Manuel Zafra, pero de una altura 30m superior y unos arcos de mayor luz. Aparte del aspecto dimensional, las principales diferencias residen en la inclinación de ambas caras y la combinación del hormigón con la mampostería. También se incorporan otros aspectos derivados de la naturaleza del emplazamiento y el encargo, como el cierre del paramento aguas abajo para permitir el vertido por coronación sin afectar la central hidroeléctrica interior.²⁰

17 Conferencia impartida el 1 de marzo de 1912 en la Escuela especial del Cuerpo Nacional de Caminos, Canales y Puertos. Zafra Esteban, 1912, p. 109

18 El ingeniero de Caminos, Canales y Puertos Alfonso Peña Boeuf (1888-1964), fue profesor de la Escuela de Caminos, presidente de la Academia de las Ciencias y presidente del Comité Nacional Español de Grandes Presas. Como ministro de Obras Públicas durante los primeros años de posguerra redacta el Plan General de Obras Públicas de 1940. Su aportación en el diseño de presas tiene un carácter experimental, centrado especialmente en el estudio de los tipos de contrafuertes y bóveda

19 En el marco del 6º Congreso de la Asociación Española para el Progreso de las Ciencias, celebrado en la Universidad de Sevilla, en 1917

20 Diez años antes, la compañía Ambursen había construido la presa de Bloede's en Estados Unidos ocupando el intersticio de los contrafuertes con una central



Siguiendo el camino abierto por Zafra, Emilio Azarola publica en 1927 el proyecto de *Presa de hormigón armado reticulada* en las lagunas del **Neila** en Burgos²¹. La propuesta alarga los contrafuertes para reducir a mínimos su espesor, transformándolos en palizadas de hormigón armado de 1,5 de base por 1 de altura²². Los puntales se arriostran para garantizar la estabilidad transversal con barras armadas de tan solo 15x20cm. La impermeabilidad se resuelve con una pantalla de chapas de acero de entre 3 y 5mm de espesor, formando bóvedas convexas hacia aguas abajo y convenientemente protegida con pinturas adecuadas.

La sencillez de montaje, el reducido coste, la garantía de impermeabilidad, el buen comportamiento a bajas temperaturas y la facilidad de reparación, son algunas de las ventajas que esgrime el autor en comparación con las presas de bóvedas múltiples de hormigón. Azarola es consciente del carácter experimental, tanto de su propuesta como del resto de alternativas coetáneas:

“Es una idea más, que puede tomarse en consideración o desecharse, entre las tentativas de mejoramiento de las soluciones corrientes.”²³

21 Un proyecto para la compañía Electra Recajo. Azarola Gresillón, 1928, p. 4

22 Las palizadas constan de una viga cabezal inclinada soportada por tornapuntas de entre 50x50 y 40x40cm y una cuantía de acero de 0,015, repartidos de forma que sustenten la misma carga, por lo tanto espaciándose en función de la altura

23 Azarola Gresillón, 1928, p. 4

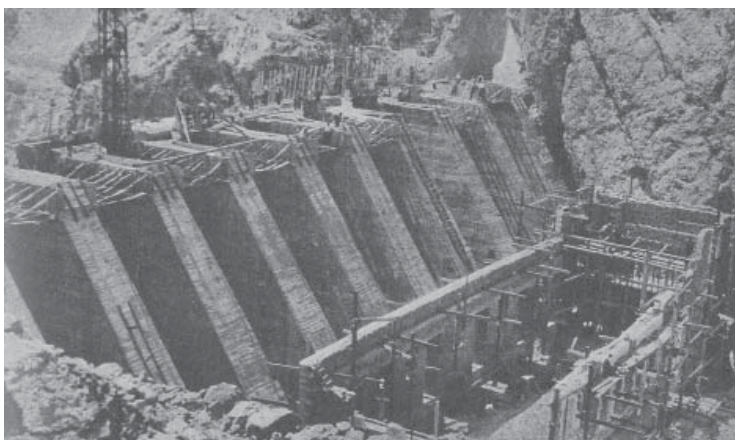
Propuesta de presa de hormigón reticulado por Emilio Azarola. Detalle del contrafuerte y encuentro con la pantalla

Azarola Gresillón, 1928, pp. 5, 6

La *Revista de Obras Públicas* es el medio de difusión de todos estos proyectos experimentales, con variaciones sobre el tipo basadas en modificaciones de la forma de los contrafuertes y la pantalla. A pesar del gran número de propuestas sobre el papel, y con numerosas realizaciones parecidas en el extranjero, ninguna se llevará a cabo. La seguridad de las presas de gravedad está “garantizada” por el perfeccionamiento derivado de la experiencia y la normalización de la metodología de cálculo entre los proyectistas. Salir de este camino requiere un gran esfuerzo para aplicar otras metodologías de dimensionado, investigar el comportamiento de nuevos materiales y prever su envejecimiento. Aún así, el principal escollo es la actitud reticente de las autoridades competentes. Y es que la seguridad atribuida a las presas de gravedad también se debe a su imagen. Atendiendo al cuento de *Los tres cerditos*, culturalmente asociamos la estabilidad a la construcción estereotómica, aún a día de hoy. Con esta manera de mirar las cosas, se entiende la dificultad de cualquier propuesta ligera, especialmente si está formada por elementos sueltos, de competir con la masividad de la presa de gravedad. Aún a finales de los años sesenta fue difícil, por ejemplo, asimilar la bóveda de **Susqueda**, frente sus antecesoras de gravedad de **Sau** y **El Pasteral**.

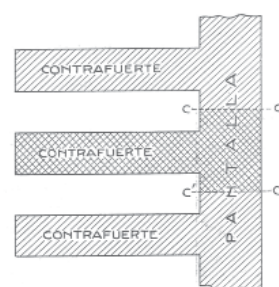
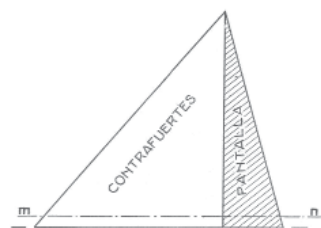
Antes de la Guerra Civil se construyen contadas presas ligeras en España, entre las que sobresalen las bóvedas de **Montejaque** y **Alloz** y la presa de contrafuertes de **Burgomillodo**. Es curioso además, que en los dos últimos casos se suceden varios proyectos durante el proceso de diseño. Es difícil determinar si esto es atribuible a la desconfianza de los promotores o al largo período de trámites desde la solicitud de concesión hasta el inicio de las obras. Hasta siete ingenieros redactan proyectos para la presa de **Alloz** en el río Salado, inaugurada en 1930.

Durante el proceso es desestimada la propuesta de Alfonso Peña Boeuf de 1927, basada en una bóveda de anillos independientes. Pero el autor evoluciona el concepto publicando en 1932 una *Nueva estructura de presa para grandes valles*. Consiste en una sucesión de presas bóveda de anillos independientes apoyadas entre contrafuertes, acercándose de esta forma al **Proyecto de presa de 90m sobre el río Duero** y cerrando un círculo que vincula la persecución de la ligereza estructural con la bóveda, los contrafuertes y sus múltiples combinaciones.



La primera presa de contrafuertes de hormigón construida en España, y única en este período, es la de **Burgomillodo**, en el río Duratón, destinada principalmente a fines hidroeléctricos. La obra, terminada en 1928, se basa en un proyecto de Cleto Miguel Mantecón de 1920, modificado posteriormente por Federico Cantero Villamil²⁴. El diseño atribuye el papel de estabilidad a una serie de contrafuertes yuxtapuestos y la impermeabilidad a la pantalla. Los contrafuertes se estrechan en función de la altura y la profundidad y forman un conjunto monolítico con la pantalla. Esta, de plano posterior vertical, está formada de hormigón apisonado con mayor dosificación de cemento para aminorar la aparición de fisuras de retracción. El volumen de material empleado se reduce en más de un tercio respecto a una presa de gravedad, una diferencia suficiente para compensar la complicación y el aumento de superficie de los moldes. La presa además cuenta con otra novedad, el aliviadero en base a una batería de nueve sifones regulables de forma independiente a partir de la admisión de aire. Precisamente la capacidad de evacuación será una preocupación constante de los propietarios, temiendo que el vertido accidental por coronación pueda dañar la central ubicada en un edificio al pie de presa. En 1953 se construye un nuevo aliviadero aprovechando las obras de recrecimiento según un proyecto de Enrique Becerril, rellenándose los espacios intersticiales entre contrafuertes y convirtiéndola en una presa de gravedad.

²⁴ Federico Cantero Villamil (1874-1946) fue un ingeniero polifacético conocido por sus proyectos empresariales ligados a la explotación hidroeléctrica del río Duero y por varias invenciones en el campo de la aeronáutica. En 1912 patenta un tipo de presa de contrafuertes llamado *Sistema Cantero*



Perfil esquemático y evolución del diseño del contrafuerte en la presa de Burgomillodo

Paramento de contrafuertes y central a pie de presa durante su construcción

Cantero Villamil, 1931, pp. 325, 327

La presa del **Estanque de Guadalupe** se emplaza aguas abajo de la confluencia de los arroyos Valhondo y Valdetravieso con el río Guadalupejo, a su vez afluente del Guadiana. Es una obra promovida por el padre Fray Gonzalo de Ocaña, tercer prior de los Jerónimos, entre 1420 y 1425²⁵. Estaba destinada a la molienda de cereales y sal, directamente vinculada a las explotaciones agrícolas del monasterio de Santa María de Guadalupe. Es una estructura de planta recta, de 63m de longitud de coronación y 14m de altura. El cuerpo tiene un espesor de 10,20m y en su interior se abren tres galerías longitudinales superpuestas, próximas al paramento de aguas abajo. La proporción de los espacios llenos respecto a los vacíos podrían inducir a leer la presa como una pieza maciza en la que se han excavado unos túneles. Pero su concepción estructural está más próxima a un entramado compuesto por dos muros paralelos conectados por una sucesión de arbotantes. Estos transmiten los empujes a unos contrafuertes que sobresalen del cuerpo 8m aguas abajo. El muro anterior tiene un grosor de más de 5,5m y el posterior de menos de 1m. La luz entre arbotantes es superior a los 6m y se cubre con bóvedas rebajadas de directriz paralela al cauce de río. Los contrafuertes también están aligerados por arcos rebajados y los cierra otro muro paralelo a la presa.

Los tres espacios interiores superpuestos son naves largas y estrechas fuertemente pautadas por la estructura transversal. Tienen una anchura constante de 3,80m, reduciéndose a 3,00m en los pasos a través de los arbotantes. La longitud, en cambio, se adapta a la apertura de la cerrada en cada nivel, reservando una parte macizada de estribación. La galería superior es la más larga, sus 11 vanos suman unos 46m, y la de mayor altura, unos 4,2m bajo bóvedas y 3,8m bajo arbotantes. Este espacio estaba destinado a la recepción y descarga del grano en unas tolvas y por lo tanto sus dimensiones permiten el paso de animales y carros. El nivel intermedio se reduce a unos 30m y 6 vanos y también se ajusta la altura libre hasta los 3,10m. Este piso alojaba las muelas y la cibera de los tres molinos de cereales. Finalmente, en el plano inferior, actualmente aterrado, se ubicaban los rodetes a razón de uno por vano. Aguas abajo la presa tiene seis contrafuertes, cinco de los cuales forman parte de una nave adosada con el

25 García-Diego, 1994, p. 165

pavimento a nivel de la galería intermedia, que alojaba el molino de sal, llamado “salinillas”.²⁶

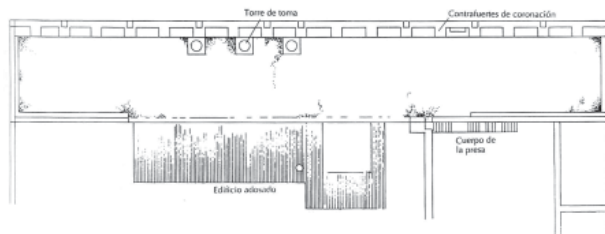
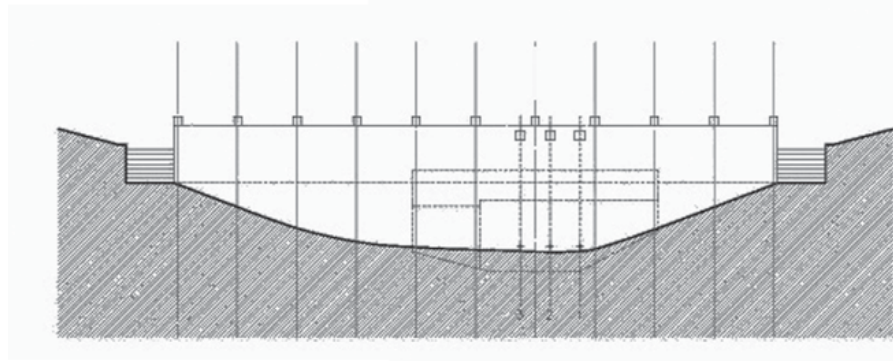
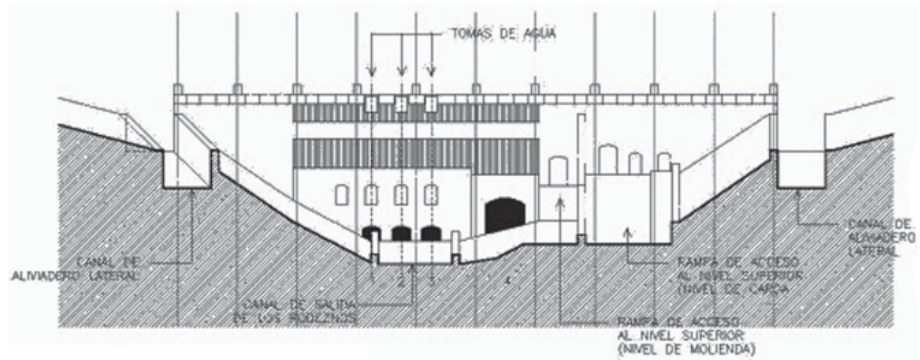
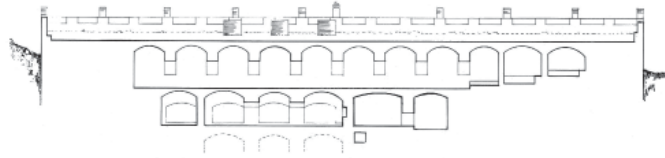
El *proyecto de presa de contrafuertes de 90 metros de altura* constituye presumiblemente una de las ocho solicitudes de concesión de aprovechamiento del tramo internacional del río Duero y sus tributarios, presentadas por la Compañía Hispano-Portuguesa de Transportes Eléctricos y personas afines entre 1919 y 1920²⁷. El objetivo de tales peticiones es forzar un acuerdo transfronterizo que permita la regulación integral de los cauces de las Arribes, resuelto finalmente en 1926. Por este motivo, cabe entender la propuesta como un anteproyecto que difícilmente llegaría a construirse, lo que ofrecería a Alfonso Peña Boeuf el suficiente margen de libertad para ensayar una solución arriesgada, aunque verosímil.

La presa se ubica sobre el Duero, aguas arriba de la confluencia con el río Tormes en un lugar conocido como El Piélagos, cerca de la localidad de Fermoselle. En este punto, el cauce configura una buena cerrada estrechándose hasta la octava parte. A raíz de los acuerdos de repartición de las aguas internacionales, Portugal tiene adjudicada la explotación de este tramo. La propuesta de Peña Boeuf se emplazaría aguas arriba de la presa portuguesa de **Bemposta**, una estructura de arco-gravedad aligerada, terminada en 1964. Atendiendo a las dificultades de responder al exiguo espacio del emplazamiento y el alto caudal a evacuar, sorprende comprobar como el *proyecto de presa de contrafuertes* anticipa una obra de proporciones similares a la que se construiría casi medio siglo después. El dique portugués tiene una longitud de coronación de 297m y una altura sobre cimientos de 87m, mientras que la *presa de contrafuertes* es sensiblemente más corta, con 243m, pero alcanza los 90m de altura. Este aspecto, también refuerza la idea de que el proyecto respondería más al planteo de una estrategia de aprovechamiento que a la resolución detallada de una presa.

Estas dimensiones cuadruplican la longitud del **Estanque de Guadalupe** y sextuplican su altura. La comparación dimensional es difícil porque estamos frente a una obra que responde

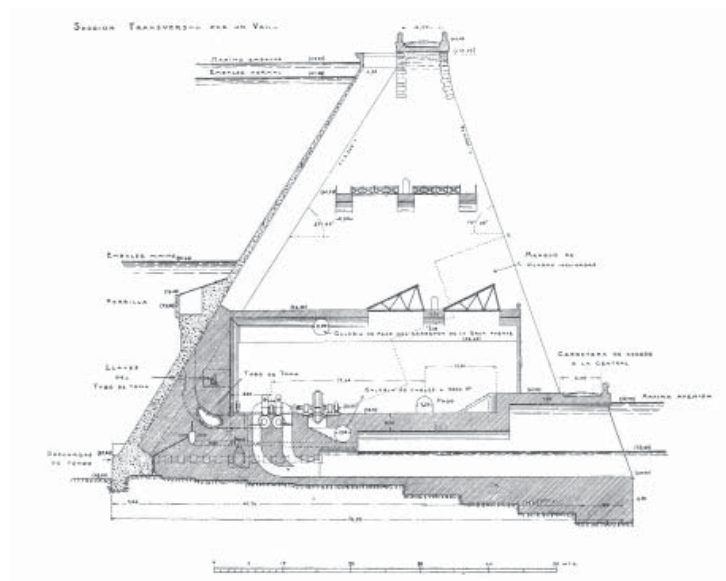
26 Díaz-Marta Pinilla, Fernández-Ordóñez, 1994, p. 82

27 En concreto, correspondería con la solicitud de *Salto de Piélagos internacional, complementario del río Duero, provincia de Zamora (aguas sobrantes)*, petición a nombre de Horacio Echevarrieta en 7 de mayo de 1920. Díaz de Aguilar Cantero, Suárez Caballero, 2007, p. 68



Presa del Estanque de Guadalupe.
Secciones longitudinal y transversal,
alzados aguas abajo y aguas arriba
y planta cota coronación. Planta y
perfil de conjunto

Bernardo Revuelta Pol. García-Diego,
1994, pp. 92, 159, 160 / José-Carlos Salcedo
Hernández. Salcedo Hernández, 2011, vol.
2, lámina 3L20



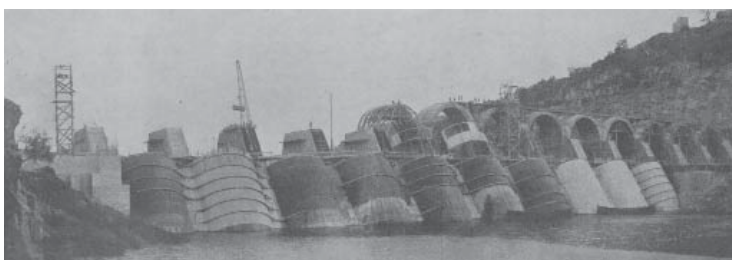
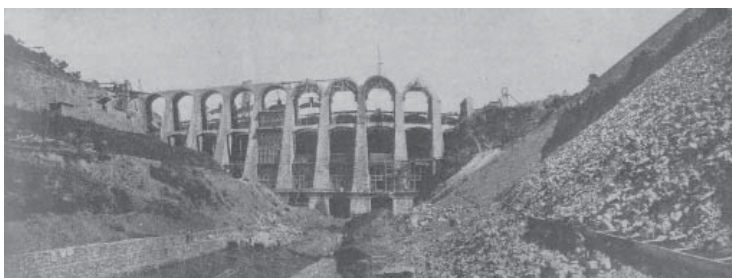
a otra escala, como también lo hace el emplazamiento y el río. El Guadalupejo difícilmente supera avenidas máximas²⁸ de $16\text{m}^3/\text{s}$ frente a los $8.000\text{m}^3/\text{s}$ estimados por Peña Boeuf en el Duero, que aumentarían hasta $11.000\text{m}^3/\text{s}$ en el proyecto de **Bemposta**.

En el momento de presentar en público la propuesta, las dimensiones adoptadas para la *presa de contrafuertes* solo son comparables en España a los 82m sobre cauce de la presa de **Talarn**. Esta estructura, terminada en 1916 sobre el río Noguera Pallaresa, se resuelve con un cuerpo gravedad, en la línea de todas las realizaciones coetáneas importantes del país. Con cierta ironía, el autor aboga por una construcción mucho más ligera cuando afirma que:

“Tratándose de una obra de tan extraordinarias proporciones forzoso es, incluso extremar las condiciones de seguridad, aunque siempre dentro de los límites de lo racional, pues para acumular la masa exageradamente no fuera preciso ser técnico.”²⁹

28 Esta cifra corresponde con el caudal punta de avenida de proyecto para la presa de Guadalupe, terminada en 1997, unos seis kilómetros aguas arriba del Estanque de Guadalupe

29 Peña Boeuf, 1917, p. 284



Aún así, también defiende el tipo de presa elegido por mejorar el control de la ejecución, aproximándose el resultado final con más exactitud a lo calculado, así como facilitar su posterior mantenimiento:

“No se crea que con esto pretendemos defender que lo macizo resiste menos que lo hueco. No; lo que sostenemos es que el interior de lo macizo es siempre un arcano y en lo hueco podemos ver mejor lo que le pasa á la envoltura.”

Boeuf solo cita la presa francesa de bóvedas múltiples de **Sélune**, de 15m, “única de este tipo en dicha nación, no siendo tampoco numerosas las que se han hecho en América y sin llegar á alturas de 50 metros”³⁰. Pero en aquel momento se están planificando o construyendo algunas presas similares en Italia. **Gleno**, construida en la provincia de Bérgamo entre 1916 y 1923 quedaría arruinada poco después de su entrada en servicio por problemas en el hormigón utilizado para la cimentación del bloque central³¹. Pero quizá la estructura más relevante es **Tirso**,

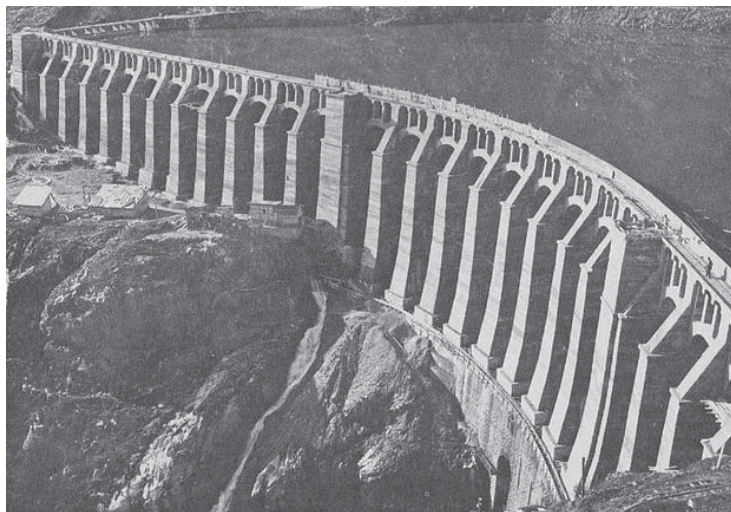
Perfil con la central integrada en el intersticio de los contrafuertes de la presa de Tirso o Santa Chiara en Cerdeña, Italia

Vista del paramento aguas arriba con las bóvedas en construcción y aguas abajo con los contrafuertes unidos por arcos

Diz Bercedóniz, 1925, pp. 323, 325

30 Peña Boeuf, 1917, p. 282. Entre las presas americanas de bóvedas múltiples destacaban hasta el momento Hume, Big Bear Valley, Gem y Hodges, terminada un año más tarde, alcanzando los 41m de altura

31 Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 558



Presas de bóvedas múltiples de
Sélune en Francia, Daniel Johnson
en Canadá y Gleno en Italia

Syndicat Mixte du Bassin de la Sélune /
Société des Attractions Touristiques du
Québec et Festivals et Événements Québec
/ *La diga del Gleno. Documenti, Tesimonianze
e fotografie*. Vilminore di Scalve: Foto
Giorgio, Vilminore di Scalve, Biblioteca
Comunale di Vilminore di Scalve, 2003

también conocida como Santa Chiara, construida en Cerdeña sobre el río homónimo entre 1917 y 1923. La estructura inicial prevista de gravedad es substituida por el tipo de bóvedas múltiples a instancias del ingeniero Luigi Kambo³². Tiene una altura de 70m, una luz entre arcos de 15m y unos taludes de 65 y 35, ocupando la central hidroeléctrica el espacio intersticial de los vanos centrales. Son muchos los aspectos de esta presa comparables con la de Boeuf, con lo que es un buen ejemplo para imaginarse el aspecto de la *presa de contrafuertes de 90 metros*. De haberse hecho realidad, ostentaría el récord de altura de este tipo hasta 1968, año en que termina la construcción de **Daniel Johnson** en Canadá con 214m de altura. Es una singular obra de André Coyne fuertemente caracterizada por la gran bóveda central de 162m de luz sobre el cauce, flanqueada por otras de 76m.

La formación granítica del cañón del Duero ofrece unas condiciones idóneas para la cimentación, resuelta con una base de mampostería hidráulica hasta los 10 metros de profundidad y enrasada por la parte superior al nivel del río en estiaje. Sobre ella y las laderas se asientan ocho contrafuertes paralelos al curso fluvial y dos machones macizos de estribación con la ladera. Se disponen según un intereje de 20m y tienen un grosor decreciente, desde los 6m en la base hasta los 3m en la cuarta parte superior.

32 Diz Bercedóniz, 1925, p. 312

A diferencia de **Tirso**, que tenía el paramento aguas arriba menos inclinado que el opuesto, el perfil propuesto por Peña Boeuf es un triángulo isósceles, con el mismo pendiente de 0,70 en ambas caras. Como hemos visto, en la presa de contrafuertes el peso del agua compensa la pérdida de masa respecto a una de gravedad, centrando la resultante del empuje. La inclinación de los paramentos será uno de los factores de forma determinantes de su diseño, que evolucionará hacia una suma de taludes situada entre 0,80 y 0,90³³, muy por debajo el 1,40 del caso que nos ocupa. Algunos diques mantendrán el paramento yuso vertical, equilibrándolo con una cara aguas arriba más tendida, pero habitualmente se inclinarán ambos lados, igualando en ocasiones las dos pendientes. Así se diseña la presa de **Alcántara II**, con dos taludes de 0,45.

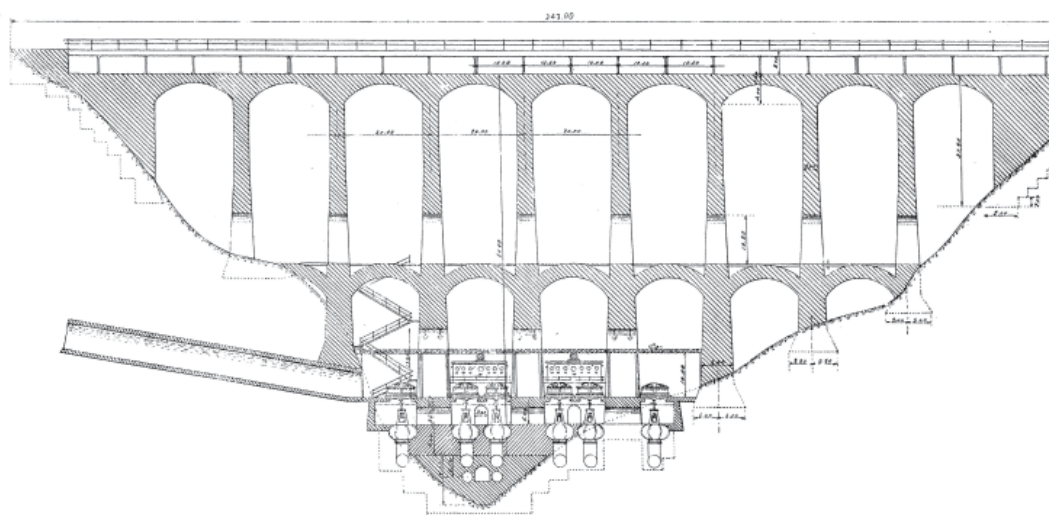
La proyección en planta de estas estructuras, da lugar a una peculiar forma de almendra en función de la intersección del perfil triangular de la presa con la topografía de la cerrada. Este hecho compartido por las presas de materiales sueltos, no es habitual en las de gravedad que suelen tener el paramento suso próximo a vertical. Muy curioso es el dibujo en planta de la **presa de contrafuertes de 90m** que podríamos asimilar al corte longitudinal de un berberecho. Peña Boeuf publica una única planta a nivel de cimientos, es decir con un corte a distintas alturas en función de la topografía. A esto se debe el diferente grosor con que se dibujan los contrafuertes, que en cambio se percibirían iguales con un corte a nivel. Destaca en esta proyección, el encañamiento de variadas curvas que envuelven la presa por ambos lados. Es el resultado del corte, también según la forma de la cerrada, de las bóvedas rebajadas de eje inclinado dispuestas entre contrafuertes, que en realidad se alinean todas sobre el mismo plano y comparten un radio igual.

Los contrafuertes se arriostran con bóvedas rebajadas de eje horizontal a la mitad de su altura, a 40m sobre cimientos, dividiendo el cuerpo de la presa en dos niveles. Se procede de un modo a las bóvedas que forman el piso de las naves en el **Estanque de Guadalupe**. Unas aperturas encadenadas, en el centro de los muros transversales, comunican en toda su longitud el gran espacio interior. Estos pasos tienen una dimensión equivalente

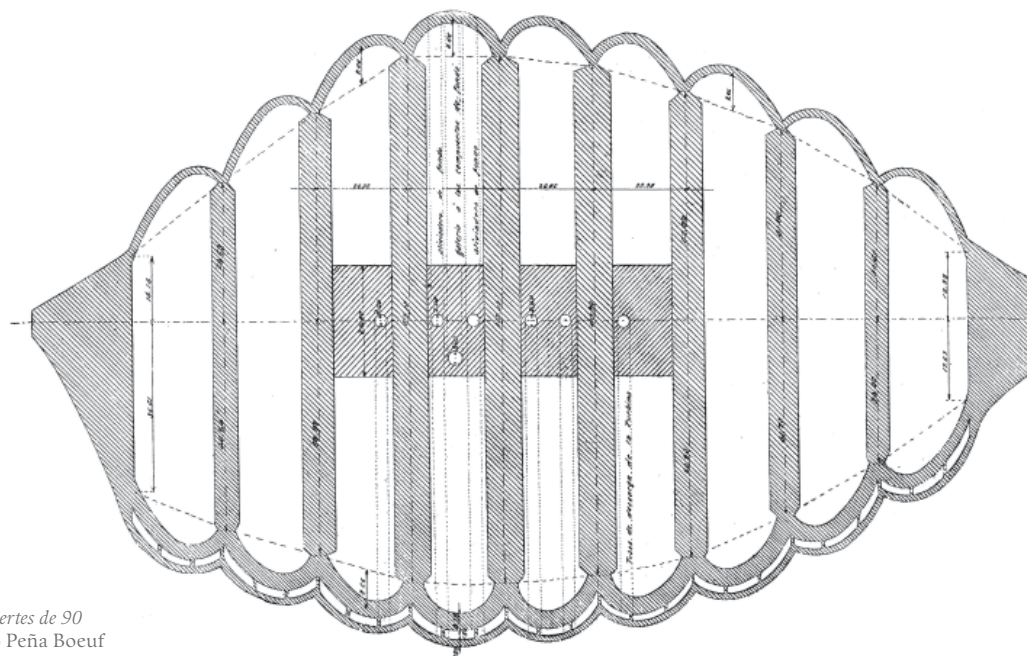
33 Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 792

Presa de contrafuertes, I

Sección longitudinal



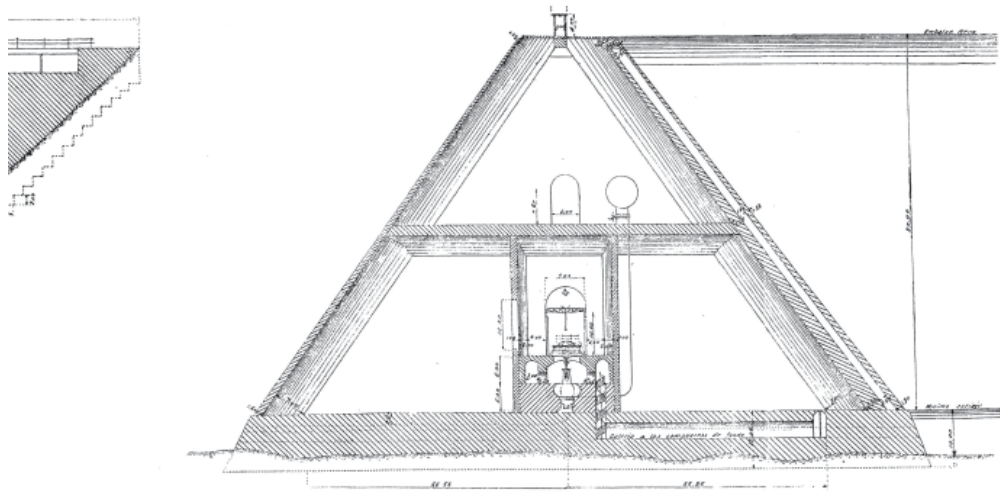
PLANTA



Proyecto de presa de contrafuertes de 90 metros de altura de Alfonso Peña Boeuf
Peña Boeuf, 1917, 2 planos desplegables

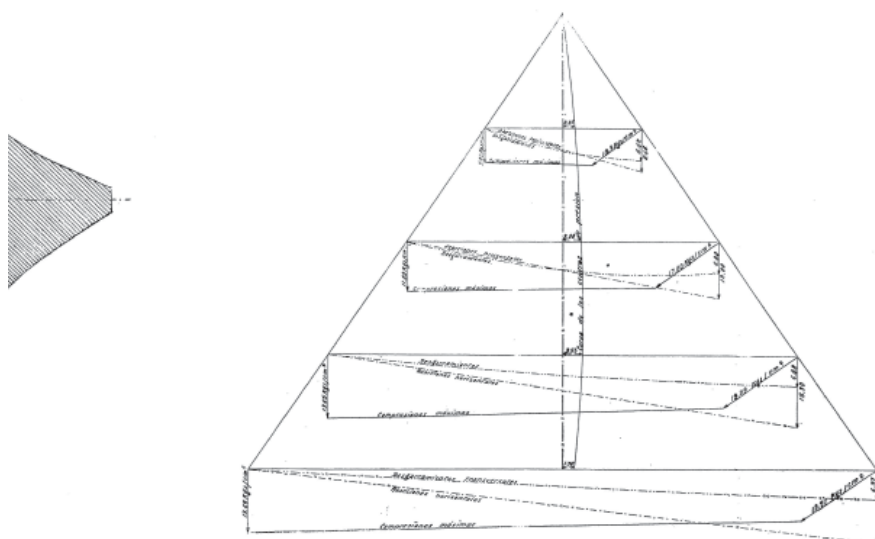
s, por D. Alfonso Peña

Sección transversal.



Correa elástica en el contrfuente

Escalac (de longitud 1.500 de fuerza unitaria / Quilógr)



al perfil de las dos galerías superiores de la presa extremeña. Sin embargo, su proporción en relación al muro las deja en simples puertas, mientras que los diafragmas de las salas del **Estanque de Guadalupe** podemos considerarlos arbotantes que estriban en los contrafuertes exteriores. La percepción de los espacios también cambia considerablemente. Si en la presa del Guadalupejo leemos salas longitudinales pautadas por estrechamientos puntuales, aquí el interior lo configuran unas enormes salas de sección triangular comunicadas por puertas.

Los seis grupos generadores se disponen alineados sobre el eje de la presa, repartiéndose en los cuatro vanos encajados en el fondo de la cerrada. La sala de máquinas se estructura en dos niveles, uno de superior para los alternadores y otro inferior para las turbinas que descansa sobre un macizo mampostería de unos 20m de ancho y 6m de altura. El perímetro de la central queda delimitado por muros semicilíndricos entre contrafuertes, en respuesta a varios aspectos según justifica Peña Boeuf:

“...el enorme espacio vacío que la rodea haría poco confortable su estancia, y por otra parte, como tratándose de una obra de tan singular importancia es preciso precaverse de posibles contingencias, si por un accidente, aunque poco probable, se abriera alguna vía de agua en las bóvedas de aguas arriba ó se produjeran filtraciones ó escapes de gran consideración...”³⁴

La cámara de máquinas sumada a su base tiene unas dimensiones similares al perfil entero de la presa de Guadalupe. Pero en el Duero, solo es el núcleo de una colosal cáscara que responde a la escala del emplazamiento, del río y de las expectativas económicas de su aprovechamiento. Lo que la cámara funeraria es la pirámide, aquí la sala de turbinas es al cuerpo de la presa. Un cuerpo que sería macizo en el tipo de gravedad e imposibilitaría la liberación de un espacio para la central. El gran vacío interior de la **presa de contrafuertes de 90m** es directamente proporcional a la optimización de su sistema estructural.

La central aglutina los accesos al resto de las instalaciones. Dos escaleras permiten el registro del piso intermedio y otro par, de caracol, facilita el descenso hasta a las cámaras de maniobra

34 Peña Boeuf, 1917, p. 284

de las compuertas de fondo, cruzando basamento macizo. La entrada de vehículos pesados a la sala de máquinas viene precedida de un largo túnel que, partiendo desde una cota segura aguas abajo, desciende 35m con una pendiente constante del 9%. El acceso con carruaje también estaba garantizado el interior de la presa del **Estanque de Guadalupe** por medio de dos rampas paralelas ascendientes en el estribo izquierdo. Con la misma pendiente, pero diferente longitud, una permitía el acceso a la galería superior para la descarga y otra a la intermedia para la carga.

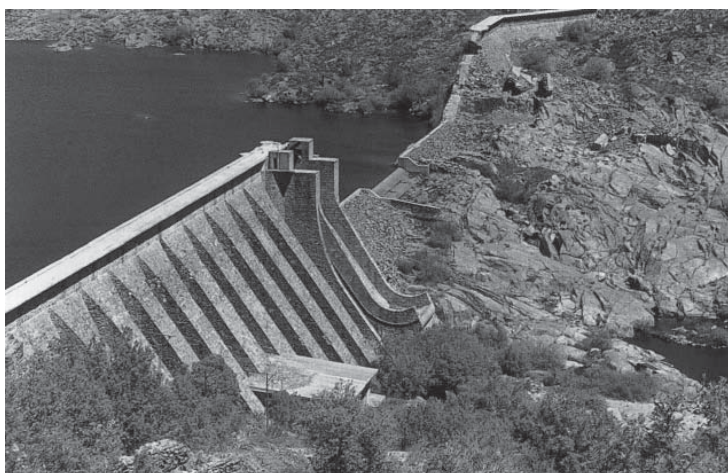
La presa extremeña se construye principalmente con mampostería de pizarra y argamasa de cal. Sin embargo, se utiliza el ladrillo para perfilar los huecos de la estructura, es decir, para formar arcos, enmarcados y aperturas. Cubre el conjunto un plano inclinado revestido con baldosas de barro cocido y coronado por una sucesión de pináculos de ladrillo que exterioriza la pauta de los contrafuertes embebidos en la construcción.

El sistema constructivo previsto para la presa del Duero es un reflejo de las expectativas y dudas que suscita el empleo de un nuevo material, frente a la anticipación y seguridad extrema que requiere este tipo de obra.

“Al encargarnos de redactar un proyecto de presa con 90 metros de elevación nos fue aconsejado como poco prudente el empleo exclusivo del hormigón armado, duplicando casi de un golpe la mayor cifra alcanzada de dicho material, para emplearla en un país, como el nuestro, en que aun no había sido siquiera ensayado en ese género de construcciones. Con ese juicio hicimos el proyecto (...), que podría tener como originalidad la de representar un elemento de transición.”³⁵

Ante la incertidumbre, se plantea una construcción híbrida que utiliza los materiales en función del papel resistente de cada elemento. La base de cimentación y los contrafuertes se construyen en mampostería hidráulica. Las bóvedas resistentes, tanto las horizontales de arrostramiento como la cara interior del paramento de aguas arriba, se prevén en hormigón en masa. En cambio, las bóvedas expuestas a la intemperie serían de hormigón armado para resistir las tracciones derivadas de los cambios

35 Peña Boeuf, 1917, p. 282



térmicos. El espesor de las bóvedas se reduce con la altura y las exteriores se apoyan sobre los riñones de las interiores dejando una cámara de 1,5m para la escorrentía de posibles filtraciones. Un forjado de hormigón armado sobre los arcos que cierran las cabezas de los contrafuertes actúa de zuncho de toda la estructura, soldándose con los paramentos externos.

A pesar de la normalización del uso del hormigón, el empleo de la mampostería en las presas de contrafuertes seguirá siendo una opción válida. Así lo defienden Manuel Zabala y José Luis Fernández Casado en una serie de artículos técnicos publicados en 1945 analizando esta tipología. Poniendo la presa de **Tirso** como ejemplo concluyente, consideran prudente un ligero aumento de las secciones y del arriostramiento.³⁶

La rotura de la presa de **Vega de Tera** en Santillana, construida entre 1954 y 1956 en la cabecera del río Tera, supondrá el punto final a la utilización de mampostería en las presas de contrafuertes españolas. Los estudios de la comisión de evaluación atribuyen el accidente de 1959 a una confluencia de factores como la diferente deformabilidad entre la mampostería y el hormigón, el aumento de subpresión por efecto del hielo sobre las juntas y los defectos de ejecución derivados del trabajo a bajas temperaturas.³⁷

A raíz de este accidente se crea el Servicio de Vigilancia de Presas y la Comisión de Normas de Grandes Presas que redacta

Presa de Vega de Tera después de la rotura
Fotografía M. Rubín. Díez-Cascón
Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 783

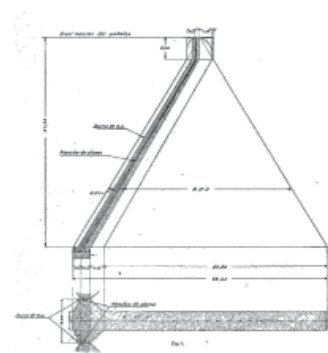
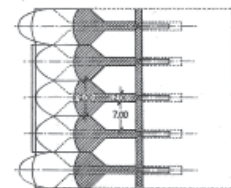
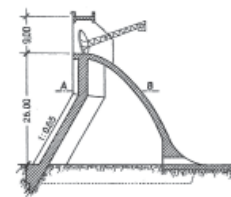
³⁶ Zabala Mendiá, Fernández Casado, 1945, p. 368

³⁷ El accidente se produce el 9 de enero de 1959, colapsando medio paramento de la presa y ocasionado 150 muertes. Aguiló Alonso, 2002, p. 243

una Instrucción de Presas. Como es habitual, el accidente es el pretexto para poner en valor algunos aspectos de diseño, procedimiento de construcción o mantenimiento poco estudiados, pero lo suficientemente importantes para garantizar un buen resultado. En este caso, además, supone un paréntesis en la construcción de presas de contrafuertes en España.

La evolución del tipo avanzaba, desde hacía décadas, por otro derrotero. Sintetiza este nuevo enfoque el proyecto de la presa de contrafuertes de **La Maya** sobre el río Tormes, publicado por José Martín Alonso en 1933³⁸. Es una estructura calculada de forma análoga a **Burgomillado** pero que incorpora y racionaliza las mejoras introducidas por Fred Noetzly³⁹ en el aliviadero de **San Martín**, en Méjico, cinco años antes. Frente al sistema compuesto por la suma de contrafuertes y pantalla delgada, se concibe una solución en base a la repetición de una pieza que lo resuelve todo. El contrafuerte gana anchura en la cara aguas arriba, extendiendo mensuras laterales de transición achaflada para una mejor transmisión de las cargas. Esta cabeza toma forma de talla de diamante para conducir el empuje del agua de forma convergente al eje de la unidad estructural, dando lugar un paramento suso de traza grecada. Las juntas de dilatación entre elementos absorben posibles asentamientos diferenciales y garantizan la impermeabilidad del conjunto, resolviendo los puntos más críticos de las estructuras laminares. Además, el mayor grosor de estos contrafuertes permite trabajar con hormigón en masa y con unos medios auxiliares similares a los utilizados en las presas de gravedad. Esta solución encuentra el terreno abonado en aquellas economías en las que el coste de construir las finas pantallas de hormigón armado ya no compensaba el ahorro de material.

Las ventajas del sistema propuesto por Martín Alonso y el carácter divulgativo del artículo, que reúne en cuatro números de la *Revista de Obras Públicas* una aproximación al cálculo de todos los elementos, sentará las bases del período de “madurez” de

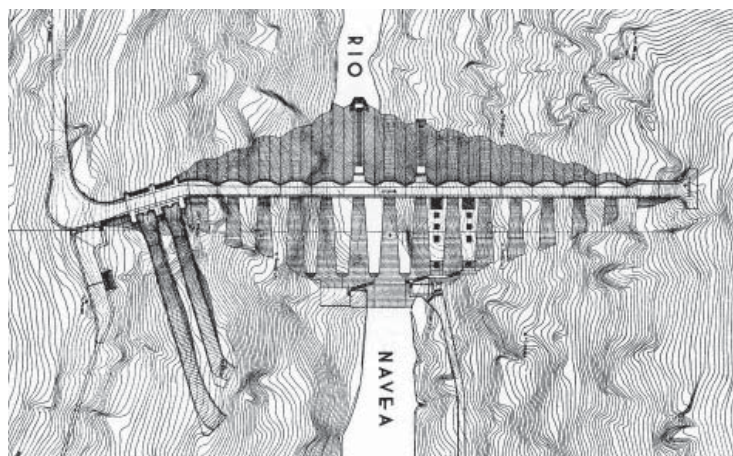
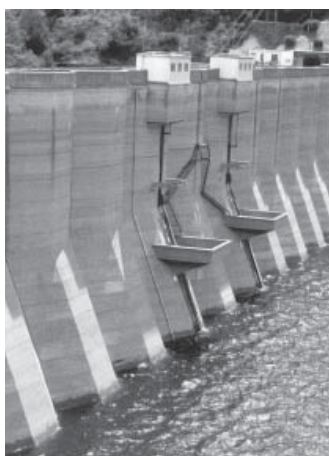


Aliviadero de San Martín, en Méjico por Fred Noetzli
Zabala Mendiola, Fernández Casado, 1945, p. 366

Planta y perfil del contrafuerte tipo en el proyecto de José Martín Alonso para la presa de la Maya
Martín Alonso, 1933, p. 362

38 La reducción del volumen respecto a un cuerpo de gravedad se estima en un 36%, calculándose un aminoramiento del coste del 30%. El ahorro absoluto de material es sustancial atendiendo a las dimensiones de la presa, de 57m de altura sobre cimientos y 513m de longitud. Los contrafuertes de La Maya presentan la misma inclinación en ambas caras y se disponen cada 12m. Martín Alonso, 1933

39 Fred Noetzly patenta variantes de este sistema de contrafuertes, conocido como sistema Noetzly



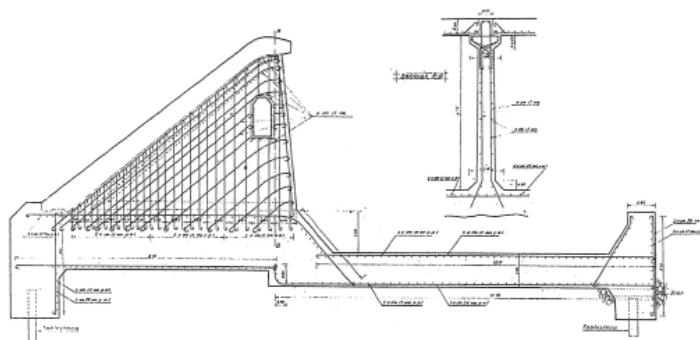
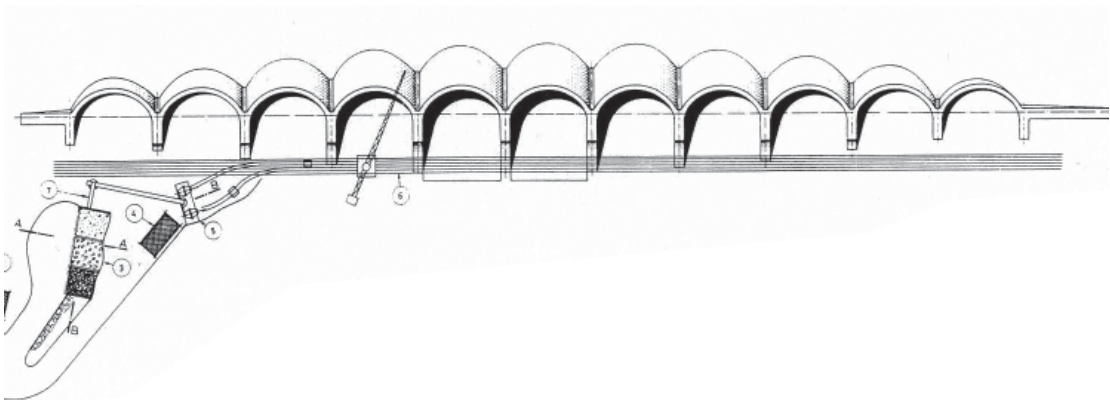
las presas de contrafuertes en España. Un período comprendido entre los años cincuenta y sesenta, interrumpido por la rotura de **Vega de Tera**. La mayoría de la veintena de presas responderán a variaciones del sistema de contrafuertes gruesos con cabeza masiva, encauzando la tipología y aparcando muchas de las tentativas intuitivas de las primeas décadas del siglo XX.

Chandreja es la primera presa importante de contrafuertes construida en España en la línea de la propuesta de Martín Alonso. Es una obra proyectada a finales de los cuarenta y terminada en 1953 según el proyecto de Alejandro del Campo. Forma parte del sistema Saltos del Sil, regulando la cabecera de uno de sus afluentes, el Navea. Tiene una altura de 85m sobre cimientos y una longitud de 236m, y su diseño revisa algunos aspectos del proyecto de **La Maya**. En concreto, aumenta la inclinación de los paramentos reduciendo la suma de taludes de 1,20 a 0,90, enlaza los contrafuertes por la base a fin de mejorar la estabilidad transversal y simplifica el sistema de impermeabilización de las juntas.⁴⁰

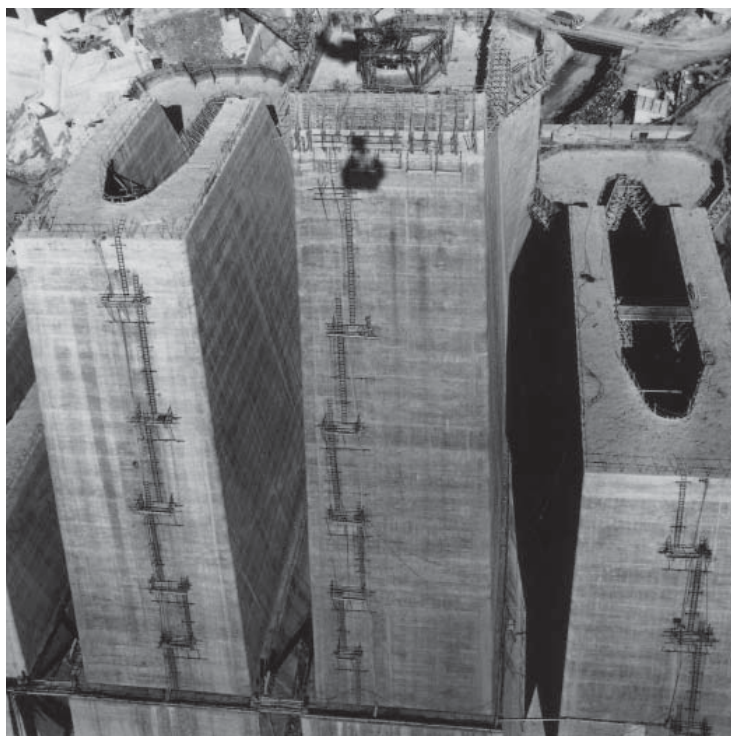
A finales de la misma década le seguirán las presas de **Prada** y **San Sebastián** en la cuenca del río Bibey, otro tributario del Sil, y la presa pirenaica de **Cavallers** en el Noguera de Tor. Las piezas más importantes de esta tipología se construirán durante los años sesenta, como **Alcántara II** y el dique izquierdo de **La Almendra**, aparte de **Azután**, **Aríñez**, **Aracena** o **Salas**.

Paramento aguas arriba, aguas abajo y planta de la presa de Chandreja
Aguiló Alonso, 2002, p. 59 / Fernández Bollo, Campo Aguilera, 1956, p. 321

40 Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 793



Ejemplares raros en España: presa bóvedas múltiples de Meicende y presa de entramado de Estremera
Yordi de Carricarte, 1962, plano desplegable / Jiménez Aparicio, 1949, p. 362



Las variantes de pantalla plana y bóvedas múltiples, en cambio, serán testimoniales y de alturas modestas. Benito Jiménez Aparicio proyecta la única presa del tipo Ambursen, **Estremera**, inaugurada en 1950 en el río Tajo para abastecer el canal del mismo nombre. Por lo que a bóvedas múltiples se refiere, destaca el proyecto de José Juan-Aracil y Ramón Ríos en los años treinta para la presa **Piscárdanos** en Burgos. Finalmente solo se construyen tres presas⁴¹ de este tipo, todas en los años sesenta y entre las que destaca **Meicende** en el arroyo de Pastoriza, cerca de La Coruña. Es una estructura de 20m de altura, 284m de longitud, formada por 11 bóvedas inclinadas con una luz de 22m⁴². De alguna forma, esta obra de Luciano Yordi de Carricarte cierra un ciclo de una familia de presas de contrafuertes que había empezado tímidamente con la presa romana de **Esparragalejo** y en el que se inscribe la *presa de contrafuertes de 90m*.

Construcción de los contrafuertes
tipo *Marcello* de Alcántara II

Muriel Hernández, Chapa Imaz, 2002, vol.
2, p. 99

41 Las presas de Orjales y Fuensagrada, construidas en 1958, acaban sufriendo una rotura, atribuida respectivamente al colapso de los contrafuertes y al deterioro y expansión del hormigón. Yagüe Córdoba, 2008, p. 78

42 La utilización de esta tipología supuso un ahorro del 50% de material y un 25% del presupuesto final. Yordi de Carricarte, 1962, p. 454

Alcántara II, terminada en 1969 con una altura de 130m y una longitud de coronación de 570m, es la presa de contrafuertes más alta de Europa; y la más alta del mundo hasta la puesta en funcionamiento de **Itaipú**⁴³ en 1984. La presa, también conocida como José María Oriol, es el penúltimo eslabón del sistema hidroeléctrico del tramo inferior del río Tajo, fruto de una concesión de 1945 a favor de Hidroeléctrica Española⁴⁴. El sistema contempla la explotación del curso principal y afluentes y utiliza el bombeo para aumentar la capacidad productiva. **Alcántara II** se emplaza justo aguas abajo de la confluencia del río Alagón con el Tajo y 800m aguas arriba del puente romano construido por el emperador Trajano en el siglo I⁴⁵. Esta es precisamente el área extremeña de mayor concentración de presas antiguas, aunque el **Estanque de Guadalupe** está a 200Km.

El volumen de agua embalsada en **Alcántara II** es de 3.137hm³, inundando una superficie de 10400ha. Los cambios inducidos en la estructura del territorio implican la construcción de ocho variantes de las vías existentes y diecinueve puentes, aparte del tendido de unos 200Km de línea eléctrica para la distribución de la electricidad. Los obreros y equipos técnicos se instalan en tres asentamientos de nueva planta, dos de los cuales siguen habitados a día de hoy.⁴⁶

Alcántara II difiere del resto de presas españolas por utilizar un doble contrafuerte tipo *Marcello*. Si se quiere es un elemento doble, o mejor un contrafuerte ancho aligerado que mejora el comportamiento frente al pandeo. De hecho sus proyectistas, Manuel Castillo Rubio y Nicolás Navalón García, la denominan “presa de gravedad aligerada”⁴⁷. Una denominación extensible a la mayoría de presas de este período, frente a la delgadez de las

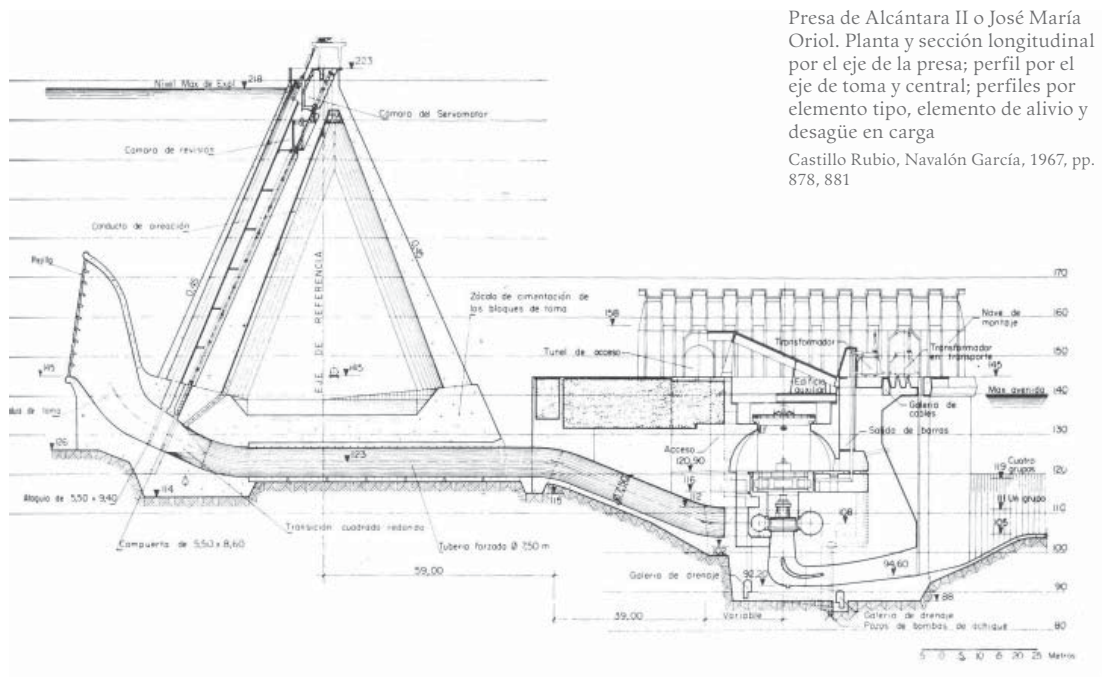
43 Situada sobre el río Paraná, en la frontera entre Brasil y Paraguay, consta de una presa de contrafuertes dobles de 196m de altura y un dique lateral de contrafuertes simples. Cuenta con una potencia instalada de 14.000MW, solo superada por la central hidroeléctrica de las Tres Gargantas en China

44 Integran el sistema los pantanos de Azután, Valdecañas, Torrejón, Alcántara II y Cedillo

45 La desviación de las aguas durante la construcción de Alcántara II dejó al descubierto la base de las pilas del puente evidenciando su mal estado, lo cual fue aprovechado para efectuar rápidas obras de reparación

46 Es destacable la organización del poblado permanente número 3, proyectado por el arquitecto Miguel de Oriol e Ybarra. Lo constituyen varias agrupaciones de casas alrededor del centro cívico, que a su vez está compuesto de varios edificios con un patio común. Teixidó Domínguez, 2012

47 Castillo Rubio, Navalón García, 1967, p. 877



Presa de Alcántara II o José María Oriol. Planta y sección longitudinal por el eje de la presa; perfil por el eje de toma y central; perfiles por elemento tipo, elemento de alivio y desagüe en carga

Castillo Rubio, Navalón García, 1967, pp. 878, 881



propuestas de pantalla plana y bóvedas múltiples. El cuerpo está formado por 19 unidades de 22m de ancho más dos estribos de gravedad, el derecho resuelto con la misma formalización y el izquierdo ocupado por el aliviadero. El perfil del contrafuerte corresponde a un trapecio isósceles con pendientes de 0,45, una base de 22m y una coronación de 7m. La cara lateral de cada elemento presenta un talud 0,03.

En el **Estanque de Guadalupe** la pauta estructural solo es perceptible al exterior a través del orden de las ventanas, los pináculos y las bóvedas de desagüe. En cambio, el sistema estructural de *la presa de contrafuertes de 90m* explicita de forma clara su funcionamiento por la repetición de bóvedas entre muros transversales. La diferencia entre ambas sería similar a la que encontraríamos entre un edificio de muros de carga y uno de estructura de hormigón con terrazas. En el primero las ventanas sugieren una organización que podría corresponder con los elementos

Presa de Alcántara con el paramento terminado y las obras de construcción del aliviadero y la central

Muriel Hernández, Chapa Imaz, 2002, vol. 2, p. 95

portantes, pero en el segundo las bandejas de hormigón son completamente explícitas y contribuyen activamente en su formalización. La forma en las presas es, ante todo, estructura, y es en los tipos ligeros donde esto es más evidente.

La separación regular entre los elementos estructurales da lugar a uno de los principales atributos de estos paramentos, la repetición y el ritmo. Los contrafuertes proyectan sombra sobre el intersticio, con lo que la profundidad y la vibración también caracterizan esta tipología. Desde aguas abajo percibimos un paramento grecado definido por la repetición de franjas verticales más anchas en la base, capicuidas con huecos oscuros. El conjunto adquiere mucha verticalidad, especialmente cuando se aúna con una cerrada estrecha.

En la mayoría de tipos de presa, por el contrario, prevalecen las líneas horizontales derivadas de la forma estructural. Estas son el reflejo de un perfil escalonado, o también de la naturaleza de un sistema constructivo por capas, en base a hiladas de sillería, tongadas de hormigón convencional o de hormigón compactado con rodillo. Serán los elementos formalizados según la hidrodinámica, los que puedan reestablecer la componente vertical, como en el caso de cajeros de guiado o trampolines de evacuación.

Aparte del intersticio entre contrafuertes, los *Marcello de Alcántara II* alojan un espacio interior. Son espacios de difícil compresión por su descomunal desproporción entre una altura de hasta 100m y una anchura de solo 7m. Dos galerías longitudinales cruzan el cuerpo en toda su longitud, en un recorrido alterna “balcones” a luz del día abiertos aguas abajo entre las caras laterales de los contrafuertes y “puentes” sobre los oscuros pozos interiores. Algunas escaleras enlazan las dos pasarelas, siendo este el único elemento de referencia para tender una relación escalar entre la medida humana y el descomunal contrafuerte.

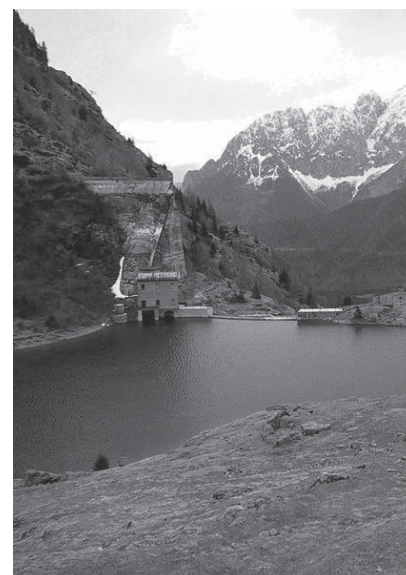
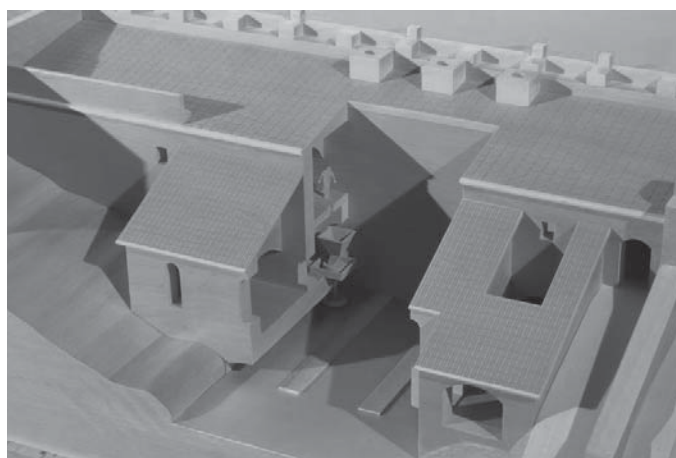
Para maximizar el salto, ante el irregular régimen fluvial, conviene situar los rotores de las turbinas a una cota inferior al nivel del cauce. Por este motivo, la central se emplaza aguas abajo en la ladera izquierda⁴⁸. Ocupa el extremo de una plataforma entre la ladera y el aliviadero central, formando parte del cajero de este, ligeramente desviada respecto a la orientación de la presa.

⁴⁸ Es desestimada la opción de soterrarla por razones de inestabilidad hidráulica entre otras. Castillo Rubio, Navalón García, 1967, p. 881

La presa de contrafuertes como entramado estructural, en el caso de la presa del Estanque de Guadalupe, y como repetición de elementos en el proyecto de presa de La Maya

Maqueta para la exposición *Ars Mechanicae*.
Fundación Juanelo Turriano / Martín
Alonso, 1933, pp. 371, 372

Vista desde aguas abajo de la presa del Estanque de Guadalupe en 1917, las bóvedas de la presa italiana de Gleno después de la rotura, de estructura similar al proyecto de Peña Boeuf; y Alcántara II





Galerías intermedia en el cuerpo de la presa del Estanque y nave exterior entre contrafuertes

Fotografía Pedro Jado / Fotografía David Fernández-Ordóñez. García-Diego, 1994, p. 148

Galerías a través de los contrafuertes, intersticios entre contrafuertes
Marcello, vacío interior de los mismos y nave de la central hidroeléctrica en la presa de Alcántara II

Fotografías Javier Gamino Palomo



La sala de turbinas tiene unas dimensiones de unos 92 x 24m, algo superior a la central de la **presa de contrafuertes de 90m**. No podemos hablar propiamente de un edificio aislado, más bien es un espacio abierto dentro del gran cajón de hormigón de la plataforma que desempeña otras funciones en el conjunto de la presa. Si en el **Estanque de Guadalupe** los espacios interiores ocupan el intersticio de un entramado estructural, aquí podemos hablar de un vaciado en una base maciza. Así lo sugiere la sección, en la que una sucesión de gruesas pilastras se arquean hacia el centro cubriendo la mitad de la anchura de la sala. Sobre ellas circulan los puentes grúa y más arriba se dispone una cubierta, sobresaliendo del nivel superior de la plataforma, que permite la iluminación cenital. La formalización de los paramentos laterales y del forjado grecado del techo, sustentado por pilares en V, remiten visualmente a la estructura de contrafuertes de la presa. Un volumen arrimado a la ladera, dispuesto de forma transversal a la central, recibe el largo túnel de entrada bajo el estribo izquierdo⁴⁹ y organiza los accesos a cada uno de los niveles y al parque de transformación situado sobre la plataforma.

En Guadalupe, cada molino disponía de su propia toma de agua para permitir un funcionamiento independiente en función de la carga de trabajo y el agua disponible. De hecho, la molida de sal solo se realizaba cuando había suficiente agua almacenada⁵⁰. Cada una de las cuatro tomas, de un metro de diámetro, sobresale de la coronación en macizos cuadrangulares de mampostería de 1,8 por 1,8m. En el Duero, los conductos de toma también miden 1m de diámetro y son registrables en toda su longitud por las características de la presa. Las embocaduras se sitúan a 30m de altura bajo el nivel de coronación para garantizar la estabilidad de la carga. En **Alcántara II** las cuatro turbinas se disponen alineadas con cuatro contrafuertes contiguos. La base de estos es atravesada por tubos blindados de 7,5m de diámetro alojados en macizos independientes.

La disposición de los molinos en el cuerpo del **Estanque de Guadalupe** empeña a estudiar detenidamente la forma de evacuar el agua para que un vertido por coronación no comprometa la inversión. Se excava un aliviadero en la roca de cada ladera,

49 Preside la boca de acceso al túnel desde el exterior una singular puerta obra del escultor Antonio Santonja. Lozano Bartolozzi, 2012, p. 433

50 Díaz-Marta Pinilla, Fernández-Ordóñez, 1994, p. 82

convenientemente protegido por muretes verticales. Cada cajero tiene una sección de 5m de ancho y 4m de altura y una generosa longitud de 150m, suficiente para alejar el agua del pie de presa. Peña Boeuf plantea una presa, en cambio, que sí que está pensada para el vertido por coronación. Es una solución relativamente novedosa para la época, en la que sigue considerándose válido un sistema de alivio similar al de Guadalupe. Precisamente el vertido por coronación es el motivo para proyectar el paramento aguas abajo cerrado, a diferencia de la mayoría de propuestas coetáneas⁵¹. Para permitir el cruce del cauce, independientemente del nivel de las aguas, una pasarela sobrepasa la coronación 4m por encima del nivel de embalse máximo. El proyecto incluye además dos desagües de fondo con un par de tuberías de 2,5m de diámetro.

Las avenidas de agua estimadas⁵² de 15.000m³/s en **Alcántara II**, son similares a los parámetros de diseño de algunas presas del sistema saltos de Duero, pero casi doblan las previsiones de Peña Boeuf y multiplican por mil el caudal máximo en el Guadalupejo. Evacuar tal cantidad de agua conlleva el diseño de unos sistemas de alivio de gran capacidad, con gran incidencia en la organización del conjunto y en la forma final. El caudal se distribuye en dos aliviaderos, uno mediante la unión de tres contrafuertes sobre el cuerpo de la presa y otro en el estribo izquierdo formado por cuatro vanos frente al cual se extiende un cuenco peraltado acabado con un dentado deflector. A esto cabe añadir dos desagües de fondo de gran capacidad que aprovechan los túneles de desviación durante las obras de construcción de la presa. La confluencia de los dos canales de alivio y la salida del agua turbinada se realiza en un espacio relativamente estrecho en relación al caudal. Esto propicia el estudio de unos complejos diques de protección y encauzamiento que se extienden 400m aguas abajo. Estos, sumados a la plataforma de la central, forman una compleja base a los pies del paramento, definiendo el alcance real de lo que es la presa.

La presencia del aliviadero sobre un paramento de contrafuertes supone el macizado de un tramo, como si fuera de gravedad,

51 Urrúnaga y Ullivarri, ambas en Álava y proyectadas por Antonio del Águila en 1955 y 1956, son presas de contrafuertes con el paramento de aguas abajo cerrado que permite el vertido por coronación. El acabado de sillería tiene un tratamiento similar a obras anteriores en las que colabora el mismo autor, como la presa de Jándula

52 Estimados por un periodo de retorno de 500 años

o la unión de varios elementos. Esto induce una hibridación de la tipología, o como mínimo una interrupción del ritmo estructural. Destaca aquí la solución adoptada en **Anchuricas-Miller**, proyectada por Enrique Becerril y Enrique García en la cabecera del río Segura. Es una modesta presa, terminada en 1957, de 128m de coronación y 28m de altura formada por 19 contrafuertes. La singularidad del diseño reside en conseguir un vertido por coronación sin alterar la regularidad del tipo estructural. Para ello se divide el ancho de canal necesario, dotando los seis contrafuertes centrales de muretes laterales de 50cm y un pie en forma de trampolín. La cabeza en talla de diamante hacia aguas arriba se ajusta perfectamente a la forma de embocadura del canal de desagüe.

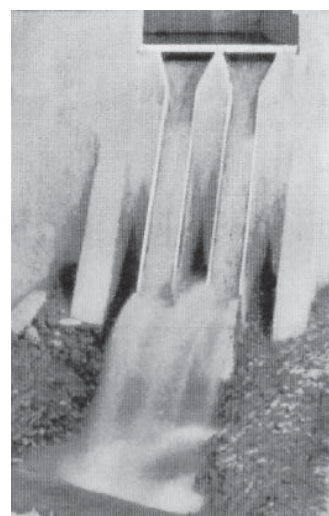
Enrique Becerril es el impulsor del Laboratorio de Hidráulica de la Escuela de Caminos de Madrid⁵³ para el estudio del comportamiento hidráulico de las presas, en especial de sus órganos de alivio, a través del ensayo con modelos a escala reducida. En el laboratorio se estudia la presa de **Puente Alta**, también conocida como Revenga o Río Frío, proyectada por el mismo Becerril. El reducido caudal de 126m³/s facilita la adaptación de dos contrafuertes como canales de aliviadero, una opción que ya se había tanteado en **Chandreja** pero es descartada por temor a que el agua fluyente introduzca vibraciones nocivas para la estructura⁵⁴. En **Anchuricas-Miller** el sistema alcanzará un caudal máximo de 823m³/s.⁵⁵

La complejidad en la formalización de estos contrafuertes, aunque reservados para caudales poco importantes, reside en dar respuesta a dos solicitudes diferentes; el conjunto del contrafuerte atendiendo a la estabilidad y su perfil superior al estudio hidrológico. El resultado acopla distintas formas resultado de sendas aproximaciones. De alguna forma podría leerse la estructura de **Anchuricas-Miller** como el resultado de la transformación en contrafuerte de los trampolines utilizados por el ingeniero francés André Coyne en las presas gravedad de los años cuarenta.

53 Fundado en 1942, es el primer laboratorio español de este tipo, descendiente de una primera instalación creada en la misma escuela por Enrique Colás y Antonio del Águila en 1923. En 1963 se inaugura el Laboratorio Central de Hidráulica del Centro de Estudios Hidrográficos. Entre las instalaciones dependientes de compañías destaca la tarea llevada a cabo por el Laboratorio de Hidráulica de Iberduero en Muelas del Pan. Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 429

54 Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 432

55 Posteriormente a Anchuricas-Miller incorporan un sistema de aliviadero similar las presas de Aríñez y Canfranc



La doble función de estos elementos es un hecho habitual en la arquitectura del templo gótico, en la que los arbotantes superiores, de remate acanalado, conducen la escorrentía de la cubierta hasta las gárgolas de vertido.

El motivo principal por el que se construye cada una de las tres presas estudiadas es el aprovechamiento del agua almacenada para generar energía. Las cuatro turbinas de **Alcántara II** suman una potencia instalada de 800MW, multiplicando por trece los 60MW previstos por Peña Boeuf. Este proyecto contempla una central de seis turbinas, una de las cuales se considera de reserva. Por su lado, cada uno de los cuatro molinos del **Estanque de Guadalupe** tenía un excelente rendimiento de trabajo, ya que en una hora “molía aún más de las doce fanegas.”⁵⁶

A pesar de estar pensadas principalmente para la molienda, las presas antiguas extremeñas eran un complejo artificio que aprovechaba el agua en todos sus sentidos. Eran el motor y el punto de convergencia de una economía basada en la agricultura y la ganadería. Aparte de ser un abrevadero para los animales, algunas disponían de un contraembalse supuestamente utilizado como criadero de peces que posteriormente se trasladaban al embalse. De aquí se le atribuye a la de Guadalupe el nombre de *Estanque*⁵⁷. Pero además son construcciones hechas a medida del

Contrafuertes trampolín en la presa de Anchuricas-Miller
Fotografía Juan Casado

Ensayo en modelo reducido del comportamiento hidráulico del aliviadero sobre contrafuertes de la presa de Puente Alta
Becerril Antón-Miralles, 1953, p. 148

56 Esta comprobación del rendimiento se realiza con un reloj de arena durante una visita de Felipe II en 1570. Díaz-Marta Pinilla, Fernández-Ordóñez, 1994, p. 79

57 Díaz-Marta Pinilla, Fernández-Ordóñez, 1994, p. 79



Jacques Peytret. *El anfiteatro de Arlés habitado*, 1686

Fotografía C.I.C.L. Colección Ville d'Arles, médiathèque

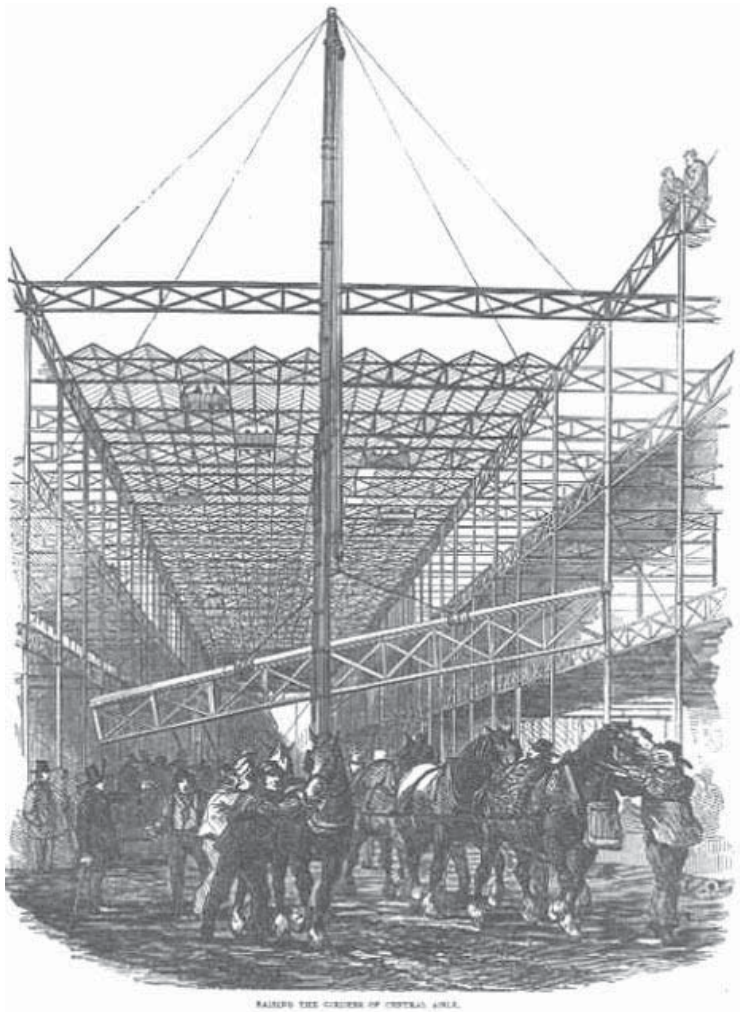
hombre. No solo como fábricas, lugares de trabajo, sino también albergando viviendas para los molineros, un oratorio en **Zalama** o una capilla en **Albuhera de Feria**. Ahora lo llamaríamos un edificio *Mixed use* en el que se mezclan los usos productivos, domésticos y de culto bajo una misma estructura. Esto da lugar a una rara particularidad de estas presas, son diques con fachada, tienen puertas y ventanas.

Se deduce que la mayoría de las antiguas presas extremeñas se levantan sin un proyecto previo⁵⁸. Es el caso de las estructuras más sencillas, el paramento de las cuales presenta un trazado irregular como si se fuera adaptando a la topografía a medida que se construía. Otras, de planta clara y recta, con una distribución de contrafuertes relativamente regular y muy bien ejecutadas seguramente son planificadas de antemano.

Podemos imaginar que el proceso de concepción de las presas antiguas extremeñas parte de idear un dique asegurado por contrafuertes entre los cuales se instala el molino. Por decirlo de una manera, sería una versión planificada de la colonización espontánea con viviendas de la estructura del acueducto de Évora o el anfiteatro de Arlés. El Estanque de Guadalupe, en cambio, parece haber sido concebida de forma inversa. Lejos de pensar una construcción para la contención del agua como primera premisa, se podría haber operado a partir de un tipo prestado, adaptándolo convenientemente a la función de molino y presa. Es decir, partiendo de la nave de un edificio civil o religioso, convenientemente reforzada para resistir el empuje del agua. Seguramente se trataría de una nave cubierta con arcos o bóvedas, por lo tanto con una estructura diseñada para transmitir empujes horizontales. No sería una vía proyectual extraña atendiendo a quién era el promotor, la orden de los Jerónimos establecida en el monasterio de Santa María de Guadalupe.

De algún modo estamos frente una aportación en el mundo de las presas que llegaría desde otro campo. Un proceso de transferencia, sin partir de la hoja en blanco y quizá sin prestar atención a las presas romanas cercanas. La innovación no es seguramente un concepto que tenga en mente el proyectista. La innovación reside aquí en resolver un problema con los recursos que uno dispone y conoce, en este caso levantar una presa sabiendo construir edificios.

⁵⁸ García-Diego, 1994, p. 136



El Crystal Palace, construido para la Exposición Universal de Londres en 1851, ilustra esta forma de proceder. Joseph Paxton era hijo de un agricultor y ejerció de jardinero para el duque de Devonshire, donde empezó a construir los primeros invernaderos. Para cubrir el estanque de nenúfares de Chatsworth diseñó un sistema estructural basándose en el papel y patrón geométrico de las nervaduras en el revés de las hojas de estas plantas. El Crystal Palace se basaría en un planteamiento similar, pero respondiendo a otra escala.

El pabellón de Londres únicamente es concebible por la experiencia de Paxton en el campo de los invernaderos y por

Elevación y montaje de jácenas en el Crystal Palace
The Illustrated London News, 4 de enero de 1851, núm. 468, p. 9

la existencia de una industria preparada para el suministro del acero y cristal manufacturado en grandes cantidades. De hecho, define la estructura junto con el ingeniero ferroviario Peter Barlow. Es una propuesta económica, de ensamblaje rápido, diáfana y reutilizable; aspectos con los que una construcción tradicional difícilmente podía competir.

“Precisamente, debido a que Paxton no estaba impregnado de la tradición ingenieril ni arquitectónica, pudo enfrentarse a los problemas de diseño sin ninguna predisposición académica por ningún estilo estructural o estético. Resolvió por igual el reto de albergar un nenúfar gigante y una Exposición Universal con edificios que se desmarcaban de los métodos convencionales de construcción y la tradición arquitectónica. Resumiendo, Paxton, en su ingenuidad profesional, encontró nuevos caminos que crearon modelos para arquitectos e ingenieros del siguiente siglo.”⁵⁹

Finalizada la exposición se tantean varias opciones para la reutilización de los materiales, entre las que destaca el montaje de una torre de 300m de acero y cristal, la Prospect Tower. El planteamiento de esta estructura sigue un patrón respecto a la innovación similar al del Crystal Palace. No en vano, la ligereza, la modularidad y la fachada colgada del pabellón para la Exposición Universal están en la génesis del rascacielos moderno.⁶⁰

Seguramente, la tipología de presas de contrafuertes es la que más analogías admite con otras construcciones civiles, especialmente el puente, pero también con los edificios. Así lo ejemplifica el **Estanque de Guadalupe**, que lleva esta ambivalencia al máximo. Es la primera presa que incorpora un espacio productivo en su interior. Pero también es la primera fábrica que hace de presa.

Ilustra esta ambivalencia la recurrente comparación de las presas contrafuertes con obras de otro tipo como recurso pedagógico para facilitar su comprensión, sobretodo en las propuestas del primer tercio del siglo XX. Durante este período, el arte de las presas evoluciona más lentamente en el plano de lo construido que otro tipo de construcciones, sobretodo referente a las

⁵⁹ Henry Petroski. Petroski, 2007, p. 203

⁶⁰ Petroski, 2007, p. 200

nuevas posibilidades que el hormigón armado permite. Es difícil descifrar hasta qué punto la analogía solo es un recurso argumental para presentar un proyecto de forma más comprensible o realmente es el desencadenante de las primeras intuiciones de los ingenieros.

El artículo de Emilio Azarola, *Presa de hormigón armado reticulada*, publicado en 1928 en la *Revista de Obras Públicas*, es un buen ejemplo de esta mirada constante a otro tipo de construcciones. Para exponer la necesidad de mejorar la eficiencia de las presas y el ahorro de material afirma:

“Verdad es que se usan con profusión “contrapesos” en construcción de edificios de estilo gótico, por ejemplo, o en mecanismos industriales. Pero estos contrapesos son piezas toscas y baratas: lingotes de fundición meramente desrebarbados. Pero el macizo del contrafuerte del “perfil de gravedad” no se hace de pedraplén o escollera, que se hace de la más selecta y esmerada fábrica que, en su género, nos es posible erigir, por miedo a subpresiones, infiltraciones, deslavaduras y otras perniciosas alteraciones que pudieran propagarse con la vejez de la obra. Un “contrapeso” de fábrica selecta y cara, por ende, tiene en efecto, algo de absurdo.”⁶¹

La comparación también es un recurso para hacer comprensible el sistema estructural. Cristóbal Antonelli describía la propuesta de Juan de Herrera para el pantano de **Tibi** como “una puente hechada”⁶² y Emilio Azarola afirmaba que “El conjunto de la estructura es semejante al de los esqueletos jaulas de los edificios de hormigón armado. Aquí no hay más que un piso, en lo más alto, y los pies derechos se inclinan hasta el talud adoptado”.

Azarola también presenta el sistema constructivo como una transferencia tecnológica ya que “La estructura propuesta es sumamente vulgar, y la práctica de la construcción de edificios la acredita”.

Las analogías con edificios también son tejidas en el sentido de apartar el temor al riesgo de accidente, afirmando que:

61 Azarola Gresillón, 1928, p. 4

62 Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2003, p. 182

“La rotura súbita de una presa de este sistema podría causar una catástrofe; pero qué, ¿el hundimiento súbito de un rascacielos lleno de público no sería igualmente catastrófico? La estructura del edificio se halla en seco, se dirá, y no expuesta a la acción demoledora del agua a presión y del hielo; pero con la pantalla proyectada puede decirse que la armazón resistente que la sostiene se halla igualmente a salvo de agentes destructores. Y a nadie se le ocurre que porque un edificio de hormigón armado, construido como una retícula, pueda caerse, habitemos sobre macizos piramidales para mayor seguridad.”

El camino hacia la racionalidad, la eficiencia y la claridad estructural en el que se inscriben las presas de contrafuertes, quedaría apartado definitivamente por el dictado de la economía, en favor de otras tipologías con menor repercusión del coste de la mano de obra.

Mundo interior

Salime

Era una cosa monumental, tremenda y tenebrosa. El gran tajo del valle se perdía casi en la oscuridad donde empezaban a brillar los focos y las luces. Ese fragor, con esa oscuridad y esos deslumbramientos eran fantásticos. Y luego las turbas de condenados, es decir, los trabajadores cargados de sus herramientas que circulaban por allí como casi invisibles, y uno se iba acercando y poco a poco todo aquello iba tomando escala humana, que hasta entonces no había tenido.

Joaquín Vaquero Turcios¹

Una flota de cien camiones de diez toneladas garantizaría el transporte de maquinaria, además del suministro continuado clinker y arena de corrección entre el puerto de Navia y las obras del salto de **Salime**. Para ello se construye un garaje con una superficie cubierta de 6.075m² dotado de talleres de reparación y de forja, instalaciones de soldadura, depósitos de carburantes y aceites, oficinas, viviendas para chóferes y almacén. La nave es en sí un sencillo e ingenioso sistema estructural para cubrir una gran luz con la mínima cantidad de acero; cada par de vertientes de la cubierta, con estructura de madera y convergentes en una limahoya, se atiranta desde una fila central de pilares de hormigón armado.

“La ruta del kilowatio”² es como los vecinos bautizan la carretera entre Grandas de Salime y el Cantábrico por la margen izquierda del río Navia, terminada en 1948. Las características de la vía, de 72km, importante desnivel y trazado sinuoso, no eran óptimas para la circulación continuada de la flota de camiones, pudiendo comportar interrupciones en el suministro. Una

1 Joaquín Vaquero Turcios en el cortometraje *La presa* de Jorge Rivero, 2009

2 Aguiló Alonso, 2002, p. 237



Los obreros en el mural La construcción del Salto pintado por Joaquín Vaquero Turcios

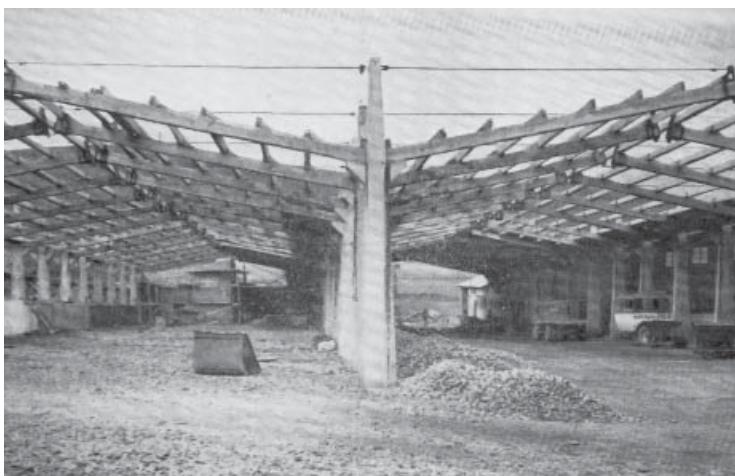
Fotografía Carlos Copertone

cantidad de camiones, por otro lado, de difícil importación en el contexto político-económico de los años cuarenta. El transporte es un aspecto crucial en el proceso constructivo de la presa, por lo que conviene encontrar una solución más eficiente.

El teleférico será el medio más fiable, permitiendo además una reducción significativa de la flota de vehículos necesaria³. Su trazado de 35,5km, discurre por la margen derecha del río, salvando una diferencia de cota de 600m entre el puerto de El Espín y la obra. La instalación consta de 320 apoyos, 8 estaciones⁴ -cuatro de las cuales motrices- y 650 vagonetas de 0,25m³. Trabaja a una velocidad media de 12km/h dando una capacidad de transporte de 35t/h. La compañía milanese Ceretti e Tanfani desarrolla el diseño que es fabricado e instalado por la empresa cántabra Nueva Montaña Quijano. En 1950 ya está en funcionamiento, siendo el teleférico de esta modalidad más

³ La flota final quedaría en 10 coches turismo, 1 ómnibus, 20 camiones de capacidades entre 6 y 15t y 1 camión Diamond de 60t. Lorenzo Pérez, 1954, p. 14

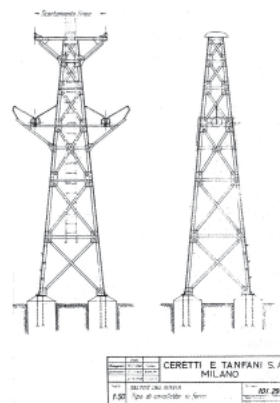
⁴ Las estaciones del teleférico son El Espín, Ronda, Llaviada, Cedemonio, Bustelo, Pelorde, La Páincega y Salto de Salime



importante de Europa⁵. El garaje se destina finalmente a almacén de materiales.

En la ría del Navia se construye un dique capaz de recibir barcos de 150t, dotado de un par de grúas con pala, cintas elevadoras, silos con capacidad de 3.500t y tolvas para la carga de vagonetas. Se instala también una estación de carga en la mitad del recorrido del teleférico con silos de 2.000t y tolvas, de modo que en caso de avería se pueda sectorizar el funcionamiento garantizando la continuidad del servicio. Finalmente, la estación de llegada estará equipada con un sistema de descarga automática de las vagonetas, otras tolvas y canaletas para la distribución a los silos.

Una Disposición Ministerial del 10 de agosto de 1948 otorga la concesión para el aprovechamiento hidroeléctrico sobre el río Navia en Grandas de Salime, declarando el proyecto de *absoluta prioridad nacional*⁶. Para su construcción y explotación, a finales de 1945 se constituye Saltos del Navia en Comunidad, una sociedad en régimen de comunidad de bienes entre Hidroeléctrica del Cantábrico SA y Electra de Viesgo SA⁷, con el soporte económico del Banco Urquijo. La primera de las compañías explotaba hasta el momento en Somiedo la central de **La Malva** y estaba a punto de



Naves en construcción del garaje para cien camiones
Lorenzo Pérez, 1954

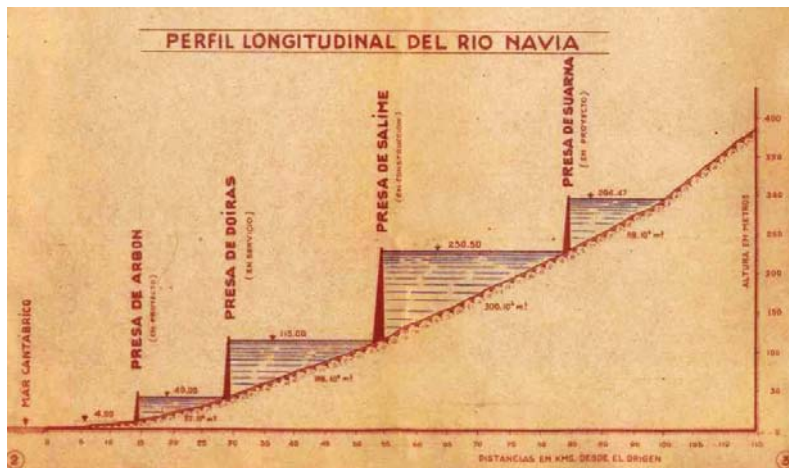
Muelle de descarga en el puerto de El Espín
Colección Javi Freitas

Tramo del teleférico sobre una carretera equipado con protecciones y plano de una torre diseñada por la compañía italiana Ceretti e Tanfani
Archivo de la Mancomunidad de Hidroeléctrica del Cantábrico y Electra del Viesgo. Tielve García, 2007, p. 88 / Colección Javi Freitas

5 Le antecede el teleférico de 6,2km de la presa francesa de Chambon, terminada en 1935. Aguiló Alonso, 2002, p. 238

6 Tielve García, 2007, p. 21

7 HC Energía es fundada en 1913 en Oviedo con el nombre de Sociedad Civil Privada de Saltos de Agua de Somiedo y pertenece desde 2005 al grupo portugués EDP. Electra de Viesgo se constituye en 1906 en Santander y pasa en manos de E.ON desde 2006, después de pertenecer a Endesa y Enel





poner en funcionamiento la de **La Riera**, pero ya en la memoria del ejercicio de 1941 advierte de la urgente necesidad de aumentar la capacidad de producción para servir la creciente demanda eléctrica:

“En atención a ello, este Consejo, que vela constantemente por los intereses de la Sociedad y que ardientemente desea contribuir al resurgimiento industrial y económico de la nación, sobre alguna concesión que ya tiene en curso, ha conseguido de los actuales concesionarios de otro importantísimo salto de agua una opción de compra duradera por varios años, y se están verificado los sondeos y estudios necesarios para cerciorarse de la posibilidad, conveniencia y utilidad de su construcción, de gran interés nacional, puesto que ella pudiera economizar un consumo anual de 300.000 toneladas de hulla y ayudar eficazmente a la extracción de este combustible.”⁸

Aún sin nombrarlo, se empieza a sondear la posibilidad de la construcción del salto de **Salime** a la vez que se propugna por un decidido cambio de modelo energético. Frente a otros sistemas de generación, la producción hidroeléctrica permite atender con gran agilidad a los picos de demanda.

8 Memoria del ejercicio de 1941 de Hidroeléctrica del Cantábrico. Vázquez, Vaquero Turcios, 2004, p. 120

Planta y perfil del aprovechamiento del río Navia y esquema del trazado del teleférico, procedentes de un documento inédito publicado en 1949

Colección Alfonso González Vespa

Silueta de la presa sobre una fotografía del emplazamiento

Lorenzo Pérez, 2003, p. 21

Los planes de la nueva compañía en comunidad sumados a los de Electra de Viesgo prevén la explotación completa del río Navia, embalsando con cuatro presas sucesivas más de la mitad de sus 120km de longitud entre la cordillera Cantábrica y el mar. Viesgo había construido el embalse de **Doiras** en 1934 que sería recrecido en 1956 unos 3,6m hasta aprovechar la diferencia de cota con el salto **Salime**. Aguas abajo, la misma empresa construiría la presa y central de **Arbón** en 1967, a solo 4m sobre el nivel del mar. En la cabecera, aguas arriba de **Salime**, estaba prevista la presa de **Suarna** que con el tiempo aumenta la altura estimada, pasando de los 75m a los 130m del **Gran Suarna** cinco años después y 150m en 1975. Las obras llegan a empezar en 1964 pero quedan paralizadas por la fuerte oposición vecinal. El conflicto de intereses entre compañía, gobiernos y vecinos se alarga más de sesenta años, hasta 2012, fecha en que el Ministerio de Medio Ambiente desaprueba la construcción de la presa por su impacto ambiental negativo sobre la fauna y los yacimientos arqueológicos.⁹

Los puestos de trabajo que ofrece la construcción del salto permiten al municipio de Grandas de Salime retrasar la acusada emigración de los pueblos de interior. En 1952, coincidiendo con la fase principal de las obras, la población llega al máximo histórico de 3.785 habitantes. Sin embargo, una vez terminadas, la siguiente década padece una primera ola migratoria de más de 1.000 personas, seguidas de otras de menor importancia, lo que sumadas al envejecimiento y la baja natalidad reduce la población por debajo de los 1.000 habitantes en 2014.

En la capital del consejo se arreglan varias viviendas para alojar empleados y sus familias y se construye la casa de dirección proyectada por Joaquín Vaquero Palacios. Su formalización es un reflejo del modo en que unas personas recién llegadas de la ciudad perciben y habitan en un mundo alejado, en un pueblo de interior. El carácter de la nueva construcción es el de un chalé, rodeado de terrazas y jardines y situado a las afueras del núcleo urbano. Sin embargo, el arquitecto utiliza los sistemas constructivos habituales en la zona, como muros de carga en mampostería de pizarra con aperturas pequeñas y cubiertas a dos aguas de estructura de madera recubiertas de lajas de pizarra con

9 "60 años bajo la amenaza de la presa". *El país*, 6 de julio de 2012

grandes chimeneas. Se incorpora incluso el artesanado mudéjar procedente del derribo del palacio de Benavente y el diseño se extiende hasta el último detalle del mobiliario.

La otra cara de la moneda del impulso económico que supone la construcción del salto para Grandas de Salime, es la desaparición de gran parte de su terreno cultivable y de pasto, base de la principal ocupación hasta el momento.

“Quedaron inundadas 1.995 fincas, con más de 3.000 parcelas, 25.360 árboles maderables, 13.800 de diversos frutales, y 14.051 pies de vid. De las 685 hectáreas inundadas, 18.098m² son fincas urbanas, 1.404m² de solares en ruina, 2.860m² de patios y corrales. Ocho puentes, cinco pequeñas iglesias, varias capillas y cuatro cementerios. Los poblados y caseríos que desaparecieron en la zona asturiana son: Subsalime, Salime¹⁰, San Feliz, Salcedo, Duade, Veiga Grande, Saborín y la Quintana. Y en términos de la provincia de Lugo, Riodeporto, Villaugín, Barqueiría, San Pedro de Ernes y Barcela. La valoración de estas zonas expropiadas, es del orden de los 17 millones de pesetas.”¹¹

La oferta laboral sumada a la desaparición de tierras de cultivo convierte en obreros a los campesinos, transformado profundamente la estructura económica y social de la población. Pero la magnitud de la empresa requiere la contratación de más operarios y mejor formados de los que se pueden disponer en la zona. Se calcula que trabajan en Salime unas 3.000 personas durante los ocho años que duran las obras. Aunque se incorporarán de forma escalonada, los pueblos de alrededor son demasiado pequeños para alojar a tal cantidad de gente. Es conveniente, como se hacía habitualmente, levantar poblados a pie de obra, ahorrando además el viaje de 7km desde Grandas de Salime.

Su planificación, como la de cualquier campamento, se basa en una serie de pabellones dispuestos en filas, aquí adaptadas según la topografía del emplazamiento. Joaquín Vaquero Turcios les atribuye “una morfología de pueblo muy parecida a la que podía ser los poblados del oeste, aquellos que vemos en las

¹⁰ Salime es la capital del consejo hasta 1836

¹¹ La valoración de las fincas para su expropiación exige un detallado inventario. Lorenzo Pérez, 1954, p. 34



Casa residencia de ingenieros en Grandas de Salime y poblados de La Painege, El Campín del Segundo Plano y Vistalegre

Temes y González de Riancho, 1954, p. 45 / Lorenzo Pérez, 2003, pp. 50 y 53

películas.”¹² Los tres núcleos destinados a operarios se instalan a distintas cotas sobre un eje normal al río aguas abajo de la presa.

La Painege es el primer asentamiento que se construye para la realización de los trabajos preparatorios y después es destinado a alojar familias. Ocupa una pequeña planicie que corona la ladera izquierda, bordeada por dos filas curvadas con un total de doce pabellones que se ramifican en los extremos. En el espacio cóncavo que configuran se construye la iglesia y otros servicios.

El Campín del Segundo Plano, a media cota entre Painege y el río, al igual que Eritaña en la ladera derecha se destinan a hombres. Constan de seis pabellones de dos plantas el primero y cuatro el segundo, dispuestos en dos filas paralelas a diferente cota. A parte de otros servicios, cada grupo incluye un comedor comunitario donde los trabajadores son “servidos por camareros, con gran pulcritud y exacta puntualidad”.¹³

El poblado de Vistalegre, situado aguas arriba de la presa, es el único que debía continuar en pie una vez terminada la obra. Las edificaciones, para operarios más cualificados y especialistas, se emplazan alrededor de la bifurcación de la carretera entre Grandas y el salto con la que lleva a la estación de llegada del teleférico. Consta de cuatro edificios de tres plantas y cinco chalés, aparte de garajes y el edificio oficina-residencia de la empresa.

Los cuatro poblados, contruidos por Saltos del Navia y Agroman, forman un núcleo disperso con un techo edificado de 14.000m² y una capacidad para unas 1.400 personas. Todas las viviendas se construyen en mampostería y ladrillo “desechando el más económico y tan socorrido sistema de los barracones de madera”¹⁴ y disponen de alumbrado eléctrico, agua fría y caliente, baños y calefacción. Este agregado cuenta además con un hospital equipado con quirófano, diez camas y ocho personas en plantilla, dos escuelas de niños y niñas y mixtas para párvulos, una escuela de aprendices, una biblioteca circulante de más de 1.000 volúmenes, una iglesia y tres capillas, tres cines con sesiones sábados y domingos, una bolera y juegos de rana y llave, cuartel,

12 Joaquín Vaquero Turcios en el cortometraje *La presa* de Jorge Rivero, 2009

13 En las cocinas los menús se preparan por “personal profesional, vigilándose que los alimentos a ingerir diariamente por cada obrero, no sean nunca inferiores a las 3.800 calorías, cifra esta que prácticamente queda diariamente rebasada”. Lorenzo Pérez, 1954, p. 36

14 Lorenzo Pérez, 1954, p. 35



economato, panadería, tres barberías y cuatro cantinas. Como en cualquier pueblo,

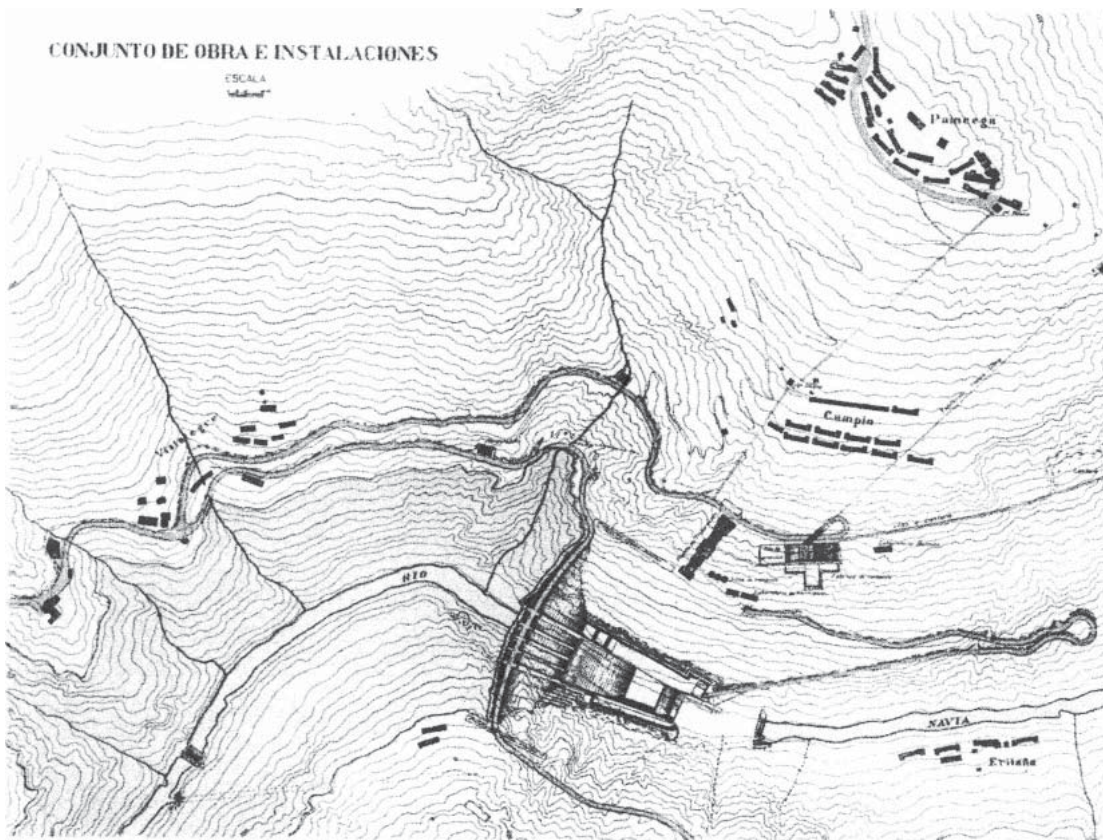
“Dos veces al año, se celebran festejos populares en los poblados de la obra, con divertidos y alegres programas; fiestas estas a las que concurren en franca fraternidad con la población obrera, los vecinos de los pueblos limítrofes.”¹⁵

Los poblados comparten algunas características con las colonias industriales y su vez con los familisterios. Estaban concebidos bajo una actitud paternalista por parte de la empresa que facilitaba vivienda y servicios a los trabajadores con unas condiciones muy superiores a las que podrían gozar individualmente. A cambio se aseguraba un mayor control sobre el personal, del que se esperaba entrega y dedicación al trabajo y a la empresa. En **Salime** los asentamientos reúnen a personas venidas de otras partes del país que forman comunidades con fuertes vínculos personales, en cierta medida proporcionales al grado de aislamiento respecto al entorno.

Los poblados configuran un agregado urbano efímero, sin pasado ni futuro, sin vinculación con la España urbana ni con los pueblos próximos. Estos núcleos son la otra cara del territorio desaparecido bajo las aguas, la creación de una nueva comunidad, un condensador social, un mundo interior con vistas a las obras y al vegetado valle del Nava. A pesar de todo correrán el mismo futuro, ya que terminada la obra serán en gran parte abandonados y reconquistados por la espesa vegetación. Seguramente trascenderá el sentimiento de pertenencia a la comunidad de quienes vivieron y trabajaron en ella.

Restos del poblado de La Painege, a primera línea de embalse
Fotografía Miki López

15 Lorenzo Pérez, 1954, p. 37



Una de las decisiones fundamentales sobre el proceso constructivo de la presa de **Salime** es la fabricación del cemento a pie de obra. Desde el punto de vista económico, se ahorran los envases y una merma del 4% del cemento durante el transporte y la manipulación, una cantidad de primera magnitud dada la envergadura de la obra. Desde el punto de vista técnico, esta decisión garantiza un mejor control sobre el cemento, lo que permite regular el tiempo de fraguado en función de las condiciones de ambiente o las zonas de aplicación, facilita el control físico y químico del cemento, garantiza homogeneidad en sus propiedades y facilita el añadido de escorias de altos hornos, realizada por primera vez en **Salime**.

Alimentar la planta de cemento es el motivo principal por el que se construye el teleférico, transportando el clínker desde el puerto hasta los silos de recepción en la obra. La fábrica se ubica en la ladera izquierda, junto la planta de machaqueo y

Imágenes de la construcción de Salime, tomadas entre 1950 y 1954. En la primera fila, extracción de bloques de pizarra en la cantera y transporte hasta la planta de machaqueo. En la segunda, sistemas de transporte para la puesta en obra del hormigón. Finalmente, tres fases de la obra correspondientes a la ataguía de desviación, la construcción de los estribos y el levantamiento por bloques del paramento

Fotografías Juan Miguel Pando Barrero para Stentor-Agromán. Archivo Pando. Instituto del Patrimonio Cultural de España

silos de cemento y arena de corrección. La planta de hormigón dispone de cuatro dosificadores de tres cuerpos y el material se traslada por cintas transportadoras a cuatro hormigoneras, dos de ellas basculantes y otras dos fijas, con una capacidad de 1,5m³ cada una. Finalmente, el hormigón es vertido en baldes cilíndricos, arrastrados por vías de cazos hasta su levantamiento. Siete blondines¹⁸ transportan por cable el hormigón hasta cualquier punto de la traza de la presa. Adicionalmente, una instalación de canaletas sobre la ladera sirve directamente a las zonas inferiores. El complejo se equipa también con dos laboratorios para el control del cemento y del hormigón.

Para el traslado de obreros y materiales a pie de obra se construyen dos planos inclinados¹⁹ en la ladera izquierda que suman una longitud de 554m, sobre los que circulan vagonetas accionadas por una estación motora en la cabeza. Los accesos a la obra se completan con la apertura de dos túneles, 5km de caminos y 35km de carreteras²⁰. Por su parte, el suministro eléctrico se garantiza con el tendido de 22km de línea a 30.000V desde la central de **Doiras** y la instalación de 45 transformadores para alimentar hasta 550 motores con un consumo punta de 45.000 a 50.000kW/día. “También fue necesario por exigencias de la obra, la comunicación telefónica con el mundo exterior.”²¹

Pero aún no puede empezar la construcción de la presa propiamente. Antes son necesarias las operaciones para desviar el río y permitir el trabajo en seco. Para ello Entrecanales y Távora construye dos ataguías, una aguas arriba de gravedad aligerada y otra aguas abajo de gravedad, posteriormente demolida. Ambas se cimientan sobre pilotes de hormigón armado con inyección de cemento en los acarrees, realizados por Cimentaciones especiales y Procedimientos Rodio. Las aguas del Navia son desviadas hacia un túnel de 654m perforado en la ladera derecha con una sección de 22m².

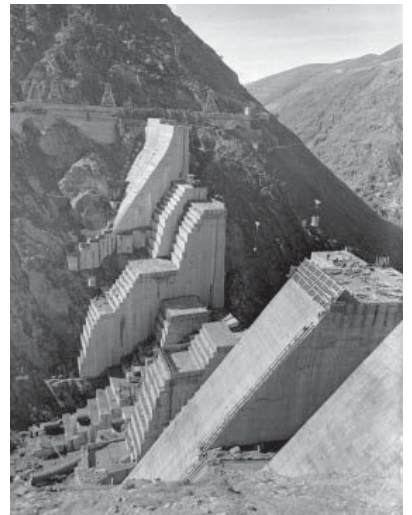
Los trabajos preparatorios y los reconocimientos geológicos habían empezado en febrero de 1946 y en octubre de 1948

18 Dos blondines fijos de 2 y 6t y cinco de móviles de entre 6 y 8t

19 Un primer tramo entre La Paincega y El Campín con una pendiente del 49% y un segundo del 95% hasta el río

20 Incluido un tramo de 8km de la vía Navia-Grandas de Salime

21 Primero con el tendido de una línea hasta la central de Doiras, desde la que se establece comunicación por radio con las oficinas de Oviedo y posteriormente con una línea desde el centro telefónico de Navia. Lorenzo Pérez, 1954, p. 13





Joaquín Vaquero Palacios, *New York*, 1928. Óleo sobre tela, 61 x 50cm
Engaña Casariego, 2013, p. 242

terminaba la desviación del río. En 1950 se ponen en marcha el teleférico, los molinos de clínker y las centrales de machaqueo y hormigonado, empezándose el paramento el año siguiente. De los nueve años que duran los trabajos, más de la mitad del tiempo se destina a obras preliminares y el resto a la construcción de la presa. El tiempo invertido en la preparación pone de manifiesto la importancia de la planificación para garantizar un buen resultado. Son, por así decirlo, las horas de ensayo antes de la función.

Ni estas instalaciones son invisibles, ni la presa es una pieza aislada, un artefacto que aparece en el paisaje sin más. Su presencia está intrínsecamente vinculada al proceso constructivo. Por una parte los poblados, por otro la cantera y las plantas de procesado de áridos, cemento y hormigón. La angostura de la cerrada es idónea para la ubicación del salto, pero dificulta la organización de estas instalaciones. Su distribución es aparentemente aleatoria, pero están colocadas de forma estratégica, buscando la mayor proximidad con la obra y a la vez acoplándose con precisión sobre la topografía existente. El diseño de cada una de estas partes supone la resolución de un problema de falta espacio y de posición relativa; el éxito del proceso constructivo de la presa requiere la resolución satisfactoria de cada uno de estos proyectos.

Realizados los poblados y las instalaciones auxiliares, Saltos del Navia en comunidad pone a concurso las obras de construcción de la presa. La contrata es adjudicada a Agroman por ofrecer un precio moderado y disponer de mejores medios mecánicos que los competidores. Los primeros trabajos consisten en las excavaciones hasta encontrar roca firme en una cerrada con terrenos pizarrosos del silúrico asturiano²². Los 303.000m³ de escombros se elevan con los blondines hasta un vertedero a media altura de la ladera derecha. Un sistema de bombas se encarga de extraer las abundantes filtraciones del agua que presenta el terreno.

Los largos trabajos preparatorios permiten alcanzar un rendimiento de trabajo excepcional durante la construcción del paramento. En el salto de **Salime** se bate el récord de colocación de hormigón jamás conseguido hasta el momento en una presa

²² Realizadas con cinco máquinas excavadoras y una dragalina



europea, alcanzando los 4.000m^3 en un día²³. El volumen de hormigón colocado es de 630.000m^3 , que sumados a los de central y colchón amortiguador, dan un total de 700.000m^3 . Las presas de **Villalcampo** o **Ricobayo** en el Duero habían logrado un resultado un tanto inferior con medios similares; este rendimiento solo tenía parangón en las grandes presas americanas, equipadas eso sí, con la última tecnología.

El cuerpo de la presa de gravedad de 250m de coronación, sigue una traza curvada de radio 400m, con un espesor de 92m en la base y 8m en la coronación. En el paramento se reservan cuatro galerías de registro y drenaje, y se empotran un desagüe de fondo de 2m de diámetro y cuatro tuberías de alimentación de 2,5m de diámetro regulables desde una cámara de compuertas. El hormigonado no se realiza por tongadas completas, sino que el cuerpo se fragmenta radialmente en 14 bloques independientes. A su vez, cada bloque se divide en dos; primero se levanta la

Conjunto de bloques del paramento en distinta fase de construcción con los seis blondines en funcionamiento. 8 de mayo de 1952

Fotografía Juan Miguel Pando Barrero para Stentor-Agromán. Archivo Pando. Instituto del Patrimonio Cultural de España

²³ Los máximos rendimientos son de 3.417m^3 el 11 de abril de 1953 y 4.080m^3 el 9 de mayo del mismo año

parte anterior con un pendiente aguas arriba de 0,05, dejando la cara opuesta escalonada. A continuación se ejecuta la parte posterior con el perfil aguas abajo definitivo de pendiente 0,74. Este procedimiento facilita la disipación del calor de fraguado a la vez que reserva y controla las juntas de retracción, que posteriormente se impermeabilizarán con chapas de cobre. Para el encofrado se utilizan paneles de gran formato de hasta 30m², y en la puesta en obra, por primera vez en una presa española, se vibra el hormigón²⁴. Durante todo el proceso los bloques centrales mantienen una menor altura, permitiendo el rebase en caso de avenida. Bien diferente a la forma final, la imagen que ofrece la presa en construcción es el de un conjunto de esbeltas torres de perfil escalonado.

“Lo que se veía era el valle tan agudo, tan cerrado y tan alto, con unos gigantescos prismas de hormigón que iban creciendo desde el fondo de aquello, como pequeños rascacielos de Nueva York.”²⁵

El 23 septiembre de 1953 se tapona el túnel de desviación y en un mes el agua alcanza el aliviadero provisional acondicionado en los bloques 10 y 11, entrando en funcionamiento la primera de las cuatro turbinas a finales del mismo año. Cuando el general Franco inaugura el pantano, el 24 de agosto de 1954, **Salime** es la presa más alta de España y la segunda de Europa, después de la francesa **Bort-les-Orgues** en el río Dordoña.

Las cifras de la construcción de un pantano resultan un tanto abstractas si no se pueden medir en relación a cosas cotidianas. En este sentido es ejemplar la *Guía descriptiva de las obras del Salto de Salime*, publicada en 1954. Es una iniciativa particular de Luís Lorenzo Pérez que recoge y describe de forma minuciosa todos los trabajos que conllevó la construcción de la presa y a modo de conclusión establece comparaciones que facilitan la comprensión de la envergadura de la obra.

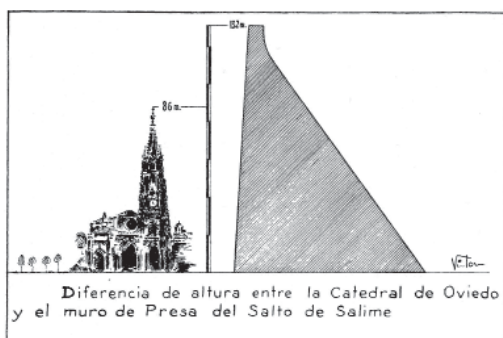
“La altura de la presa de Salime²⁶ es de 132m o sea, 42m más que la torre de la catedral de Oviedo, incluida la cruz de su remate. El muro de la presa y edificio de central, pesarán MIL

“Curiosos datos comparativos” de la presa del salto de Salime
Lorenzo Pérez, 1954

24 Aguiló Alonso, 2002, p. 238

25 Joaquín Vaquero Turcios en el cortometraje *La presa* de Jorge Rivero, 2009

26 La altura final sobre cimientos es de 134m



SEISCIENTOS OCHENTA MILLONES DE KILOS, o sea OCHENTA Y DOS MILLONES Y MEDIO DE KILOS más, que todos los habitantes de España, Portugal y Andorra, -incluido el edificio e instalación de su emisora de "Radio"- (calculando en 45 kilos el peso medio por habitante).

Los sacos de cemento empleados solamente en Presa y Central, serían suficientes para cubrir el perímetro de Asturias con un parapeto de 4 sacos superpuestos, sobrando todavía los sacos necesarios para cerrar el cerco de Oviedo con otro parapeto de doble fila de 6 sacos.

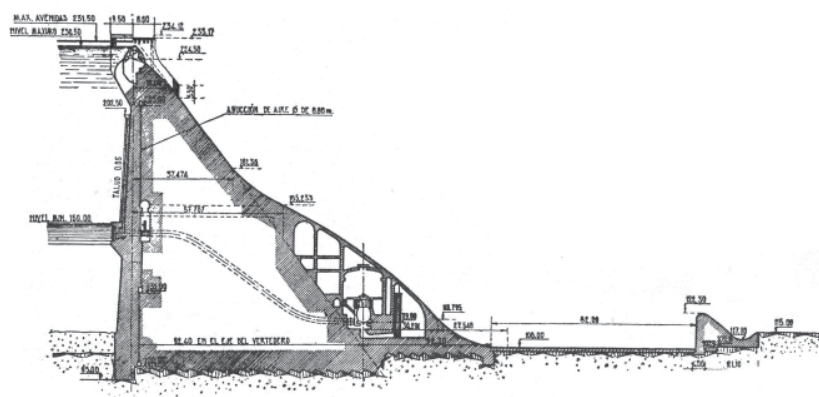
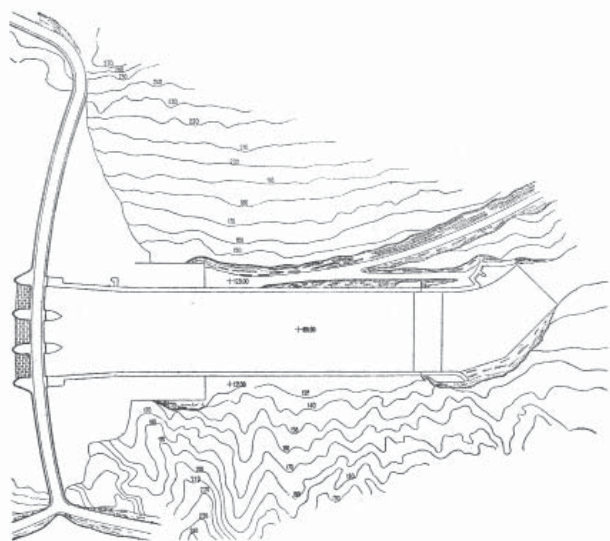
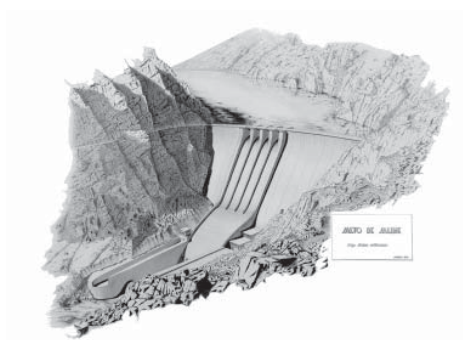
Para transportar el hormigón empleado en Presa y Central, serían necesarios, CIENTO SESENTA Y OCHO MIL camiones de 10 toneladas, que colocados en convoy a la distancia exigida por las ordenanzas de Obras Públicas, ocuparían más de 5.000 kilómetros de carretera.

Con el hormigón empleado en la Presa y Central, habría para construir 2.800 edificios de 10 pisos de 25 x 15m de planta, a los que aplicando el módulo americano para alojamientos (25m² por persona) podrían alojar una población de 420.000 habitantes - Cuatro ciudades como Oviedo.

[El embalse] tardaría en llenarse con arreglo al caudal medio del río a su paso por Salime, unos 65 días, y en régimen de la máxima riada registrada en unas 74 horas."²⁷

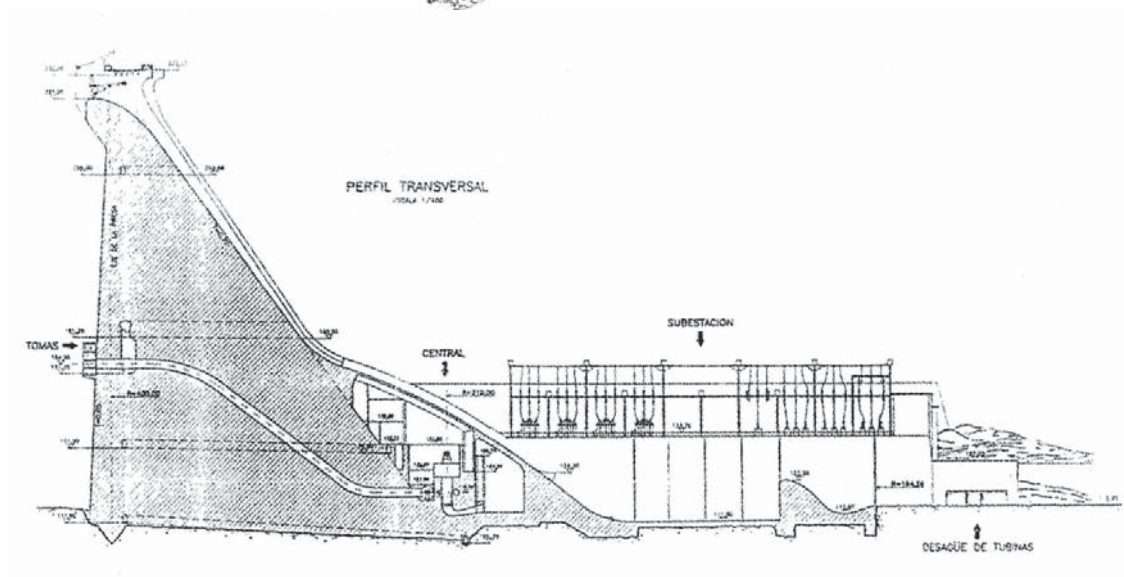
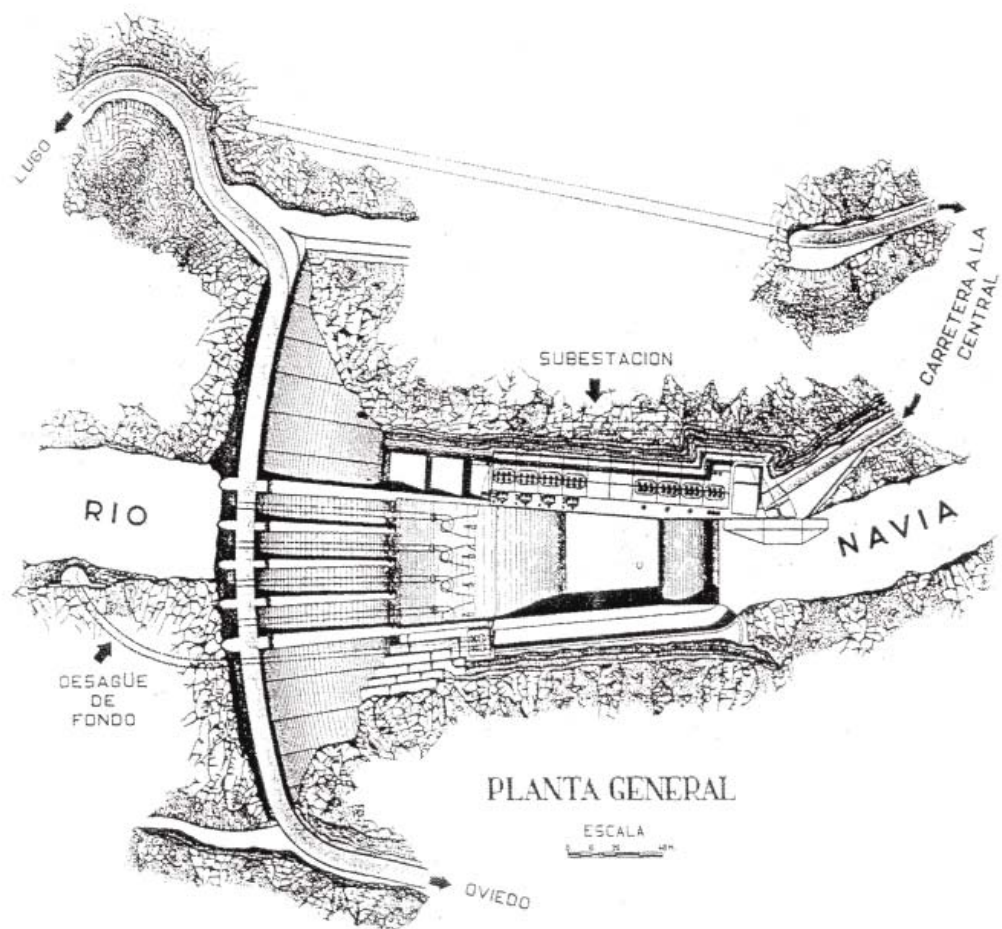


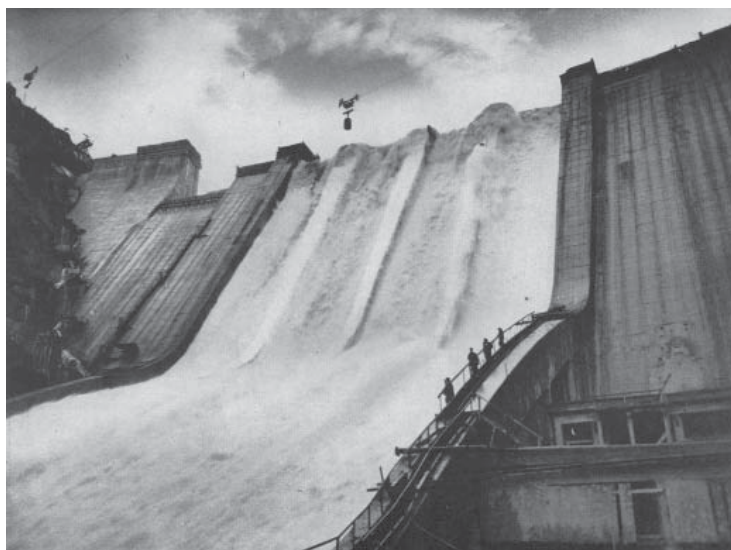
27 Lorenzo Pérez, 1954, pp. 33 y 51



Planos y perspectiva de las soluciones inicial y final, en las que destaca la evolución del aliviadero y los volúmenes que lo acompañan

Fotografía Juan Miguel Pando Barrero. Archivo Pando. Instituto del Patrimonio Cultural de España / Archivo de la Mancomunidad de Hidroeléctrica del Cantábrico y Electra del Viesgo. Tielve García, 2007, p. 42 / Aguiló Alonso, 2002, pp. 237, 239



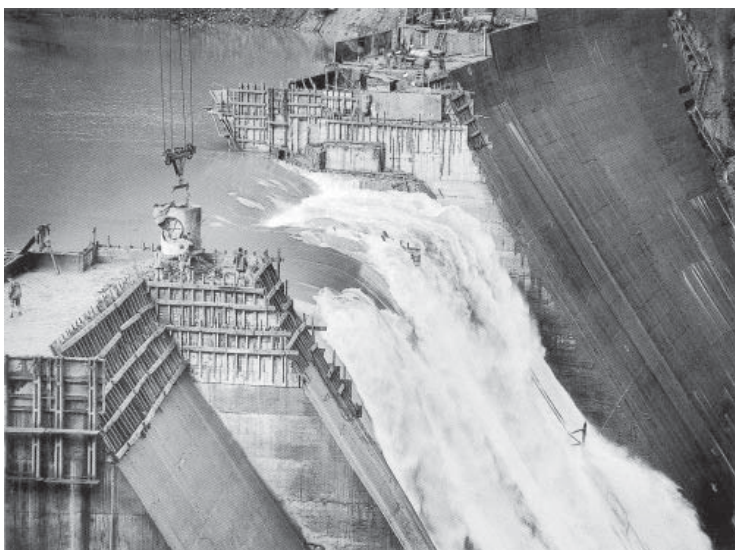


Precisamente los grandes caudales a evacuar de 2.000m³ junto a la estrechez de la cerrada conducen a una solución solapada, donde la central se emplaza a pie de presa y bajo el aliviadero. De esta forma se ahorra la excavación de costosos túneles para los aliviaderos o para una central subterránea, como se hizo por ejemplo en **Aldeadávila**, para lo que tampoco se disponía de la suficiente experiencia ni de la maquinaria necesaria. Situar la central a pie de presa es la solución que adoptaron de forma pionera las antiguas albuheras extremeñas a partir del siglo XV, en las que un molino ocupa los intersticios entre contrafuertes. También lo hicieron presas modernas como **Jándula** terminada en 1932 sobre el río homónimo o posteriormente **Valdecañas** y **Cedillo** en el Tajo.

El vertido por coronación sobre la sala de máquinas se desarrolla en España por primera vez en la pequeña presa de **Gaitanejo** de 1927, como respuesta a la falta de espacio en la boca del desfiladero de los Gaitanes. Esta obra anticipa la solución popularizada por André Coyne en los años cuarenta en presas como **L'Aigle** o **Saint-Étienne-Cantalès** en Francia. En ellas, unos trampolines en salto de esquí se apoyan sobre el techo de la central adosada a pie de presa. El conjunto es una yuxtaposición de elementos que conservan su autonomía formal, directamente vinculada a la función que desempeñan. Los ingenieros de **Salime** dan un paso más allá, diseñando

Una riada durante los trabajos de construcción vertiendo sobre los bloques centrales. 13 de febrero de 1954

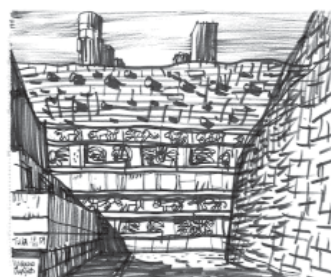
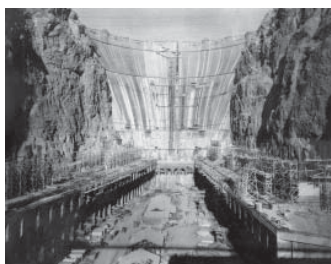
Fotografía Juan Miguel Pando Barrero para Stentor-Agromán. Archivo Pando. Instituto del Patrimonio Cultural de España / *Informes de la Construcción*, 1957, núm. 88



un paramento que engloba todas las partes. El aliviadero es el elemento que aglutina el paramento y la central, cuyo techo es directamente el reverso del canal de desagüe. La sala de máquinas pierde su fachada quedando ahora literalmente engullida bajo la presa. Es una solución que anticipa **Jándula**, aunque solo sea a modo de sugerencia, concretándose aquí las formas fluidas en función del comportamiento de las avenidas a evacuar. **Contreras**, construida en 1974 en el río Cabriel, repetirá una solución similar.

El aliviadero se ubica en el centro del paramento y su perfil se compone de tres tramos, formando un cuenco de 82m de longitud. La parte superior, sobre el cuerpo de la presa, tiene cuatro embocaduras con cabeza de perfil *Creager*, cerradas por sendas compuertas de sector de 15x6m. A media altura entronca tangencialmente con el extradós convexo de la cubierta de la sala de máquinas, reforzada por una sucesión de cerchas metálicas de perfil curvo embebidas en el hormigón²⁸. Remata este tramo central un dentado deflector. Un dique separado configura un contraembalse de 40m de longitud y 34m de ancho que actúa

28 La cubierta-aliviadero es una propuesta novedosa y arriesgada. Seguramente por este motivo la compañía pide una segunda opinión a partir del proyecto reformado redactado por los ingenieros Luís Fedriani y José Luís Corral. En 1950 Eduardo Torroja recibe el encargo de un informe sobre el sistema de auscultación de la presa y otro sobre esta estructura, del que solo se conservan los cálculos de comprobación. Archivo Torroja, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas



Presas Hoover sobre el río Colorado
en Estados Unidos
Bureau of Reclamation

Joaquín Vaquero Turcios. *Tula*,
México, 1959. Dibujo a tinta 36 x
43cm
Goya Subastas

como colchón disipador por sumersión. Su función es la de prevenir la erosión junto al pie de la presa.

El comportamiento hidráulico del aliviadero se estudia en el Laboratorio de Hidráulica de la Escuela de Caminos de Madrid, dirigido por Enrique Becerril. Precisamente este ingeniero es responsable, junto con Antón Miralles, del proyecto definitivo de replanteo²⁹. A raíz de los ensayos en modelo reducido se modifica el diseño original pasando de tres a cuatro vanos y formalizando un aliviadero de paredes convergentes el lugar de paralelas. Además se incorporan muretes de separación del canal desde la parte superior hasta el punto de inflexión, y un dentado al final del recorrido.³⁰

El contraembalse inferior viene encajonado lateralmente por diques de más de 20m de alto. Por la derecha circula a cielo abierto el desagüe de fondo que desemboca una vez terminado el aliviadero. Sobre este dique se sitúa la caseta de válvulas y los bloques de refuerzo de la ladera de perfil escalonado. En la banda opuesta, el desagüe de turbinas, la galería de acceso y sobre ellas el parque de transformación.

Salime es un buen ejemplo para evidenciar que la presa no acaba con el paramento, no se limita al muro que retiene el agua. La central aquí no es una pieza yuxtapuesta, ya que la formalización de su cubierta responde a la anchura y altura necesaria para la circulación del puente grúa y el alojamiento de las turbinas, pero también es un elemento determinante para dar continuidad al aliviadero que empieza sobre el paramento. El sistema de alivio tampoco se entiende sin el cajero final confinando el contraembalse. Un cajón al que se acoplan el desagüe de fondo, los accesos y el parque de transformación. La presa extiende en la base dos barras encajadas en la ladera, encauzando el aliviadero, como en una posición de abrir paso al agua en la estrecha cerrada. Estos mismos elementos se repiten en muchas presas, pero la virtud del proyecto de **Salime** es entender que forman parte del mismo conjunto y organizarlas en consecuencia. Es paradigmática en este sentido la solución de la presa de **Hoover** sobre el río Colorado en Estados Unidos, a pesar de carecer de aliviadero central.

29 En calidad de directores técnicos de la Oficina de Estudios Eléctricos del Banco Urquijo, principal accionista de Hidroeléctrica del Cantábrico

30 Esta misma solución será incorporada en un par de presas japonesas coetáneas. Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 430

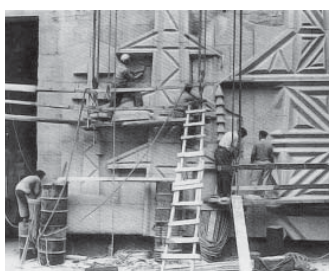


Las dos barras son partes inseparables de la presa de **Salime** del mismo modo que las patas son parte indisoluble del cuerpo de la Gran Esfinge de Guiza. Y atendiendo al largo cuerpo de la monumental escultura egipcia no podemos dejar de ver también los 270 millones de metros cúbicos de agua embalsada como parte irremediamente vinculada a la presa, en forma de una cola alargándose 30km aguas arriba.

El proyecto y ejecución del salto de **Salime** son muy cuidados, lo que viene reforzar la compresión del conjunto como un solo elemento trabado y complejo. Para ver hasta donde llega la preocupación por el cuidado de los detalles solo cabe fijarse en como se estabiliza la ladera derecha. La contención se aborda a partir de cinco niveles de muros escalonados en las dos direcciones. El coronamiento de las paredes de hormigón no se percibe en la parte superior, quedando cada bloque definido solo por la arista de encuentro del plano vertical de hormigón y el horizontal de césped. Esta solución desmaterializa el peso que atribuimos a los elementos de contención al quedar desdibujado su grosor en favor de una formalización más abstracta. Es evidente que hay un proyecto, o como mínimo unas decisiones intencionadas, detrás de esta solución, aunque quizá el pequeño despiece o la geometría particular le atribuyen una escala y una resolución formal diferente al conjunto de la presa.

El aliviadero desde aguas arriba, acompañado por diques laterales y los bloques de estabilización de la ladera

Fotografía Carlos Copertone



Túnel de la carretera de acceso a las instalaciones
Fotografía Fernando de Silva

Trabajos de apiconado de los relieves de hormigón
Fotografía Joaquín Vaquero Turcios.
Amann, Cánovas (ed.), 1998, p. 124

“Desde lo que sería la cota de su coronación, una carretera en descenso rápido por la ladera izquierda aguas abajo y tras varias revueltas, ya casi en la orilla del río, un giro sobre sí misma hacia aguas arriba y enseguida un breve ensanche o explanada para topar con una edificación plana y casi ciega, con un solo y único hueco: un portón de grandes dimensiones. Detrás de esta fachada se encontraría una galería de paso a la Central y sobre ella la Subestación a la intemperie.

Este portón habría de constituir el único acceso al total de la maquinaria y del personal.

La edificación, sin duda era perfecta en su funcionalidad... Para mí el problema de este edificio era la faz, el primer impacto, el tope y parada obligada al llegar al Salto.

Desde esa escasa plataforma no había otro motivo para la vista que las dos montañas inmediatas a una y otra vertiente, la pared desnuda de hormigón, y el cielo.”³¹

Joaquín Vaquero Palacios (1933-2010) es llamado a intervenir en el salto de **Salime**, incorporándose cuando las obras ya están bastante avanzadas. La trayectoria profesional del arquitecto y pintor asturiano está estrechamente vinculada a las inversiones de Hidroeléctrica del Cantábrico. En 1968 construirá el edificio de la sede social en Oviedo y entre los cincuenta y ochenta colaborará en el salto de **Salime**, las centrales hidroeléctricas de **Miranda**, **Proaza** y **Tanes**, la central térmica de Aboño y la subestación de Carrió. Esta relación tiene el antecedente de los trabajos para la Sociedad Popular Ovetense, absorbida por la compañía en 1939. En los años treinta desarrolla el diseño de varios transformadores en Oviedo y un banco-monumento en la central de **La Malva** dedicado al fundador de la compañía, Policarpo Herrero.

Vaquero Palacios es el eslabón intermedio de tres generaciones, abuelo, padre e hijo, estrechamente vinculadas con el salto de **Salime**. Narciso Hernández Vaquero, padre de Joaquín, fue socio fundador y presidente de Hidroeléctrica del Cantábrico entre 1939 y 1958. Por su parte, el pintor y escultor Joaquín Vaquero Turcios, nieto del empresario, colaborará activamente en los trabajos de pintura junto a su padre.

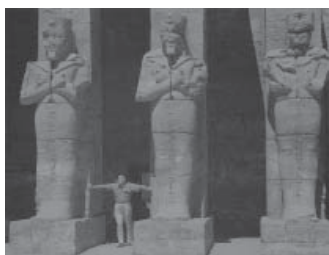
31 Joaquín Vaquero Palacios. Amann, Cánovas (ed.), 1998, p. 118



Parte del recorrido descendente que describe Vaquero se realiza a través de un túnel, lo que aumenta el efecto sorpresa del visitante. Frente la entrada a la central se abre una pequeña plazoleta, situada pocos metros sobre el río y separada del cuerpo de la presa por el largo dique izquierdo. Aquí se lee perfectamente la cerrada y la disposición del paramento; observada desde abajo se comprende la descomunal escala de la presa, una obra más cercana al mundo de lo geológico que al de las personas. La plazoleta, además, está lo suficientemente separada para ver el paramento en toda su altura, pero lo bastante cerca para “notar” su presencia y entender que nos hemos adentrado en el espacio que define.

El dique dobla su altura frente el acceso con un volumen escalonado, la casa de aceites, que permite subir al parque de

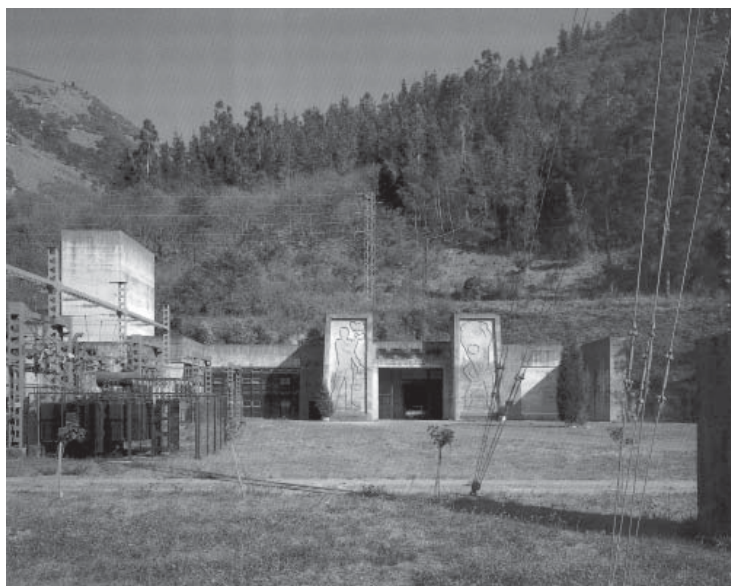
Entrada a la central con mirador y
visión parcial de la presa al fondo
Fotografía Joaquín Vaquero Turcios. Pérez
Lastra, 1992, p. 206



Joaquín Vaquero Palacios en el templo de Ramesseum, Tebas, 1959
Fotografía Joaquín Vaquero Turcios.
Amann, Cánovas (ed.), 1998, p.112

Cuerpo de acceso a la central subterránea de Miranda
Fotografía Ángel Luis Baltanás y Eduardo Sánchez.
Amann, Cánovas (ed.), 1998, p. 131

Vaquero Palacios acariciando la textura del hormigón apiconado
Vaquero Palacios, Fernández Fernández, Toribio, 1980, p. 22



transformación y aloja salas auxiliares. Con este recrecido el dique tiene las proporciones adecuadas para presidir la plazoleta de recepción, pero además oculta parcialmente el paramento dando mayor profundidad de visión. Para una contemplación frontal, el arquitecto proyecta un mirador semicircular en voladizo sobre el lecho del río, del que solo permanecen algunas señales en la pared. La visión de la presa desde el espacio de acceso es quizá más sugerente que la que se tendría desde el mirador. Recuerda a una iglesia sobresaliendo por encima de las casas, vislumbrada a pie de calle, en un barrio viejo de trazado irregular. La anteposición de las casas agranda la profundidad del campo de visión y el menor grano de su tejido acentúa la escala del monumento. Es una idea opuesta al eje barroco, en el que el templo preside de forma clara, simétrica y sin estorbos el final de la perspectiva que configura la calle, estando el espacio urbano a la escala de la construcción focal.

Para el portal de entrada, Vaquero propone un relieve narrativo del proceso de producción eléctrica. “Toda una serie de motivos para imaginar esquemáticamente lo que sucedía detrás del telón”³². Realiza una serie de piezas de hormigón con árido de mármol rojo de Alicante, de unos tres metros de altura, ancladas superficialmente

32 Joaquín Vaquero Palacios. Amann, Cánovas (ed.), 1998, p. 118

sobre el muro de hormigón gris existente. El color elegido, así como el grosor de 60cm de las piezas dan cierta autonomía al mural, evidenciando que es un elemento superpuesto a posteriori. Pero de forma análoga a la presa, se formalizan a partir de un molde, dejando que el hormigón tome su forma y solidifique. Ya sobre la pared se apiconan³³ para que resalte el árido de tono cálido.

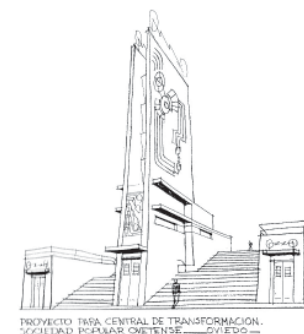
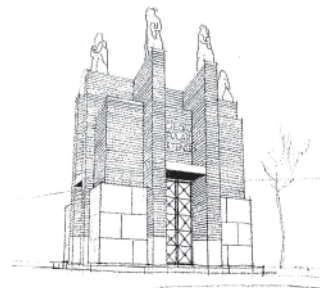
El telón es el enmarcado y la puerta, la entrada al mundo interior de la central. El telón es la explicación simbólica del “milagro” que se produce tras él: la transformación de la energía potencial en electricidad, la generación de algo invisible que ha cambiado irremediabilmente nuestras vidas.

La puerta, el umbral, es un elemento en el que Vaquero Palacios centra recurrentemente la atención. La central subterránea de **Miranda**, realizada entre 1958 y 1963, aflora a la superficie con un cuerpo alargado a los pies de la ladera. Dos torres de 13m de altura flanquean la entrada al túnel de acceso. Sobre ellas, el arquitecto dibuja dos siluetas que simbolizan los usos de la energía eléctrica: Prometeo representando el calor y la luz y Atlas, la fuerza y el movimiento. Aquí, los condicionantes difieren de **Salime**, así como el modo de operar. Las dos torres son en realidad chimeneas de ventilación proyectadas de antemano, pero el arquitecto puede formalizarlas y pedir el empleo de un hormigón con cantos rodados de cuarcita, procedentes del río. La silueta de las figuras se define por una incisión de unos 25cm, más profunda que los detalles. La superficie apiconada exhibe los áridos coloridos, contrastando sobre el fondo gris con la textura de un encofrado convencional de tablas horizontales.

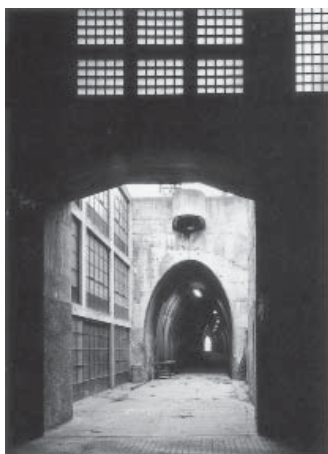
Los dioses griegos se representan de una forma que recuerda a los relieves hundidos egipcios, a lo que se suma el enmarcado y la peculiar inclinación lateral de las torres. Las figuras se fusionan con el fondo, lo que, siendo una intervención limitada, es suficiente para otorgar carácter al conjunto de la central, dejando entender que todo lo visible es en realidad parte de la entrada.³⁴

³³ Vocablo asturiano que significa trabajar con el picón, una herramienta para picar piedra o superficies recias

³⁴ Es seguramente en el conjunto de transformadores para la Sociedad Popular Ovetense donde más indaga Vaquero Palacios en la formalización de la puerta en el edificio infraestructural. En todas las propuestas esta ocupa la parte central de una estructura de acentuada verticalidad y, a pesar de no ser más que un paso de servicio, acaba presidiendo el conjunto. Es como si la puerta fuera el elemento fundacional del edículo. Los transformadores tienen un carácter monumental y pueden verse como una colección de pabellones que, repartidos estrictamente según parámetros de distribución eléctrica, son capaces de cualificar toda una ciudad



Perspectivas de transformadores para la ciudad de Oviedo: plaza de San Miguel, parque de San Francisco y paseo de Santa Clara, 1933-39
Amann, Cánovas (ed.), 1998, p. 84

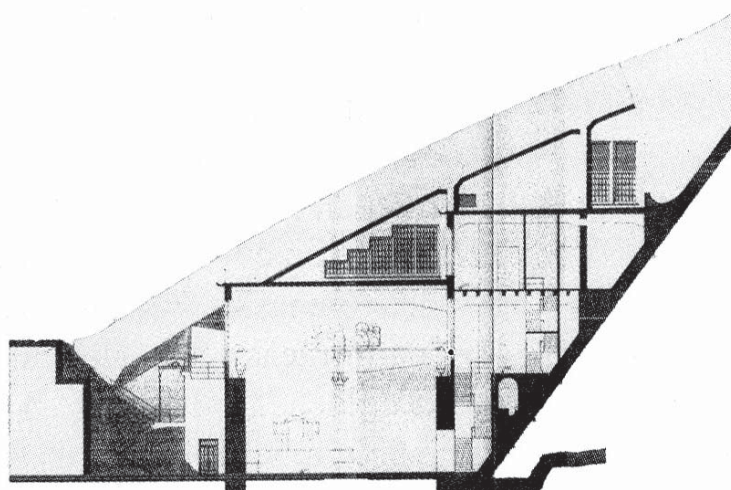
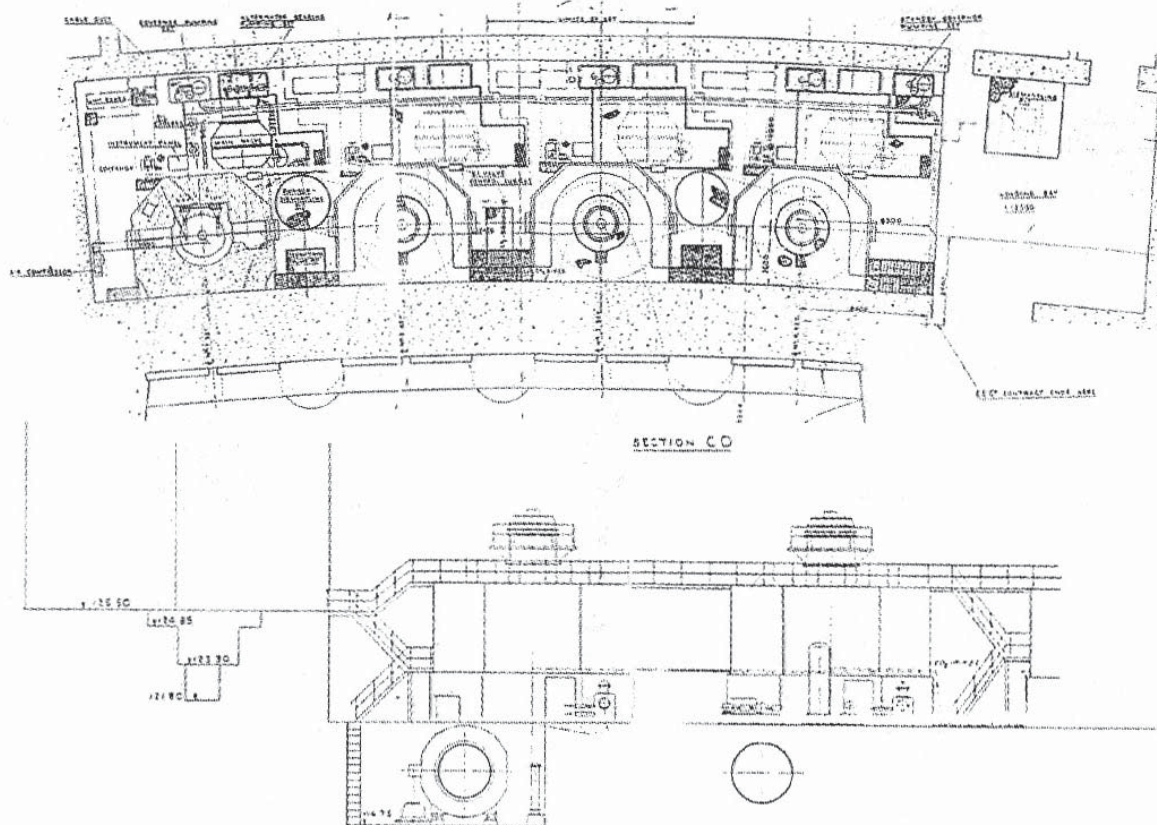


Tras la portalada de **Salime**, se abre un espacio más alto que profundo, bañado por la luz que entra desde unos ventanales en el nivel superior. Este interior alto y luminoso acoge el puente grúa que sirve a la subestación eléctrica. Es el preámbulo de la galería de cien metros de longitud que cruza el dique izquierdo. El túnel, de sección parabólica, traza una trayectoria curvada que impide alumbrarse con la luz del final que, en cambio, sí se refleja en el lateral cóncavo. Más que un espacio excavado en la roca se puede leer como una reserva en el macizado del dique, lo que le confiere la calidad de un vacío modelado. Acaba en un espacio de dimensiones similares al cuerpo de entrada, pero sin techo. Un patio delimitado lateralmente por el aliviadero y una fachada acristalada de tres plantas y, frontalmente, por el volumen escalonado de acceso a la central. La mirada se dirige hacia arriba donde preside el muro de la presa. Está tan cerca y es tan alta que no la podemos ver de forma completa, es enorme. Después de los pasos preparatorios ya estamos a sus pies, a punto de adentrarnos en su mundo interior.

Entramos de forma tangencial a la sala de turbinas, por una terraza situada unos 4m por encima y con el techo más bajo. Es el vestíbulo que organiza los espacios interiores y un mirador sobre la fábrica de electricidad. Ante él se extiende una sala alargada de 50m de longitud por unos 13,6m de anchura, con un trazado ligeramente curvado. El techo inclinado y abovedado, que supera los 20m en el paramento aguas arriba, define una sección trapezoidal. Un techo que vemos continuar a través de unas aberturas en lo alto y que es el reverso del canal de agua. Adosados al paramento aguas abajo se sitúan los cuatro grupos generadores³⁵, que mandan el agua turbinada a la cámara de equilibrio situada a sus espaldas. Desde aquí será devuelta al cauce por un túnel a presión. Los alternadores se alojan en prismas achaflanados de chapa metálica remachada, pintada en rojo y blanco, dispuestos sobre un zócalo acabado en mármol negro, con el que también se termina el resto de la sala hasta la altura del balcón de entrada.

A partir de este nivel, las paredes tienen un revestimiento liso, pintado de color rojizo, sobre el que presiden dos grandes

³⁵ Son grupos de turbina alternador de eje vertical. Las turbinas de reacción tipo Francis, de 50.000cv, trabajan con un salto nominal de 107m y un caudal conjunto de 170m³/s. Entre 2000 y 2003 se reemplazan los rodets aumentando la potencia hasta 40MW por grupo, sumando una potencia instalada de 160MW y una energía media producida al año de unos 300GWh

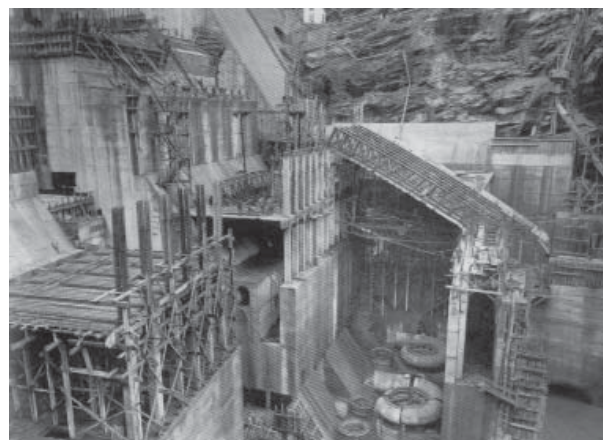
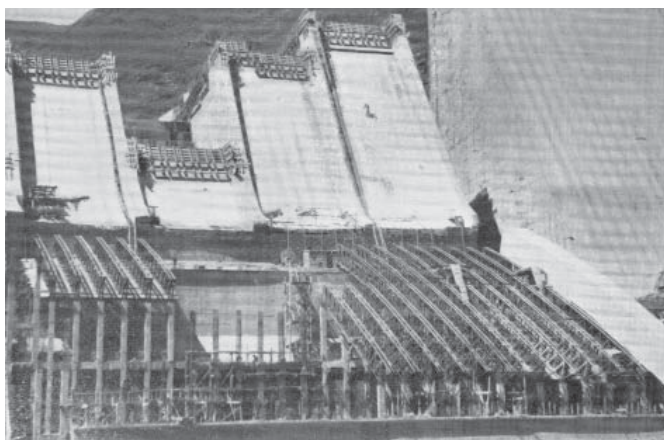


Túnel de acceso bajo la subestación eléctrica y patio previo a la sala de turbinas

Fotografía Ángel Luis Baltanás y Eduardo Sánchez. Amann, Cánovas (ed.), 1998, pp. 125, 129

Planta, sección longitudinal y alzado lateral de la sala de turbinas por el cuerpo de ingreso

Archivo de la Mancomunidad de Hidroeléctrica del Cantábrico y Electra del Viesgo. Tielve García, 2007, pp. 30, 33



murales enfrentados. Configura el coronamiento de las paredes longitudinales una repetición de pilares de hormigón armado sobre los que se apoyan las cerchas embebidas en el forjado. Están retrasados respecto el plano inferior permitiendo el apoyo del puente grúa de 150tm. En la cara aguas arriba, la más alta, cada pilar saca una importante ménsula que sustenta un balcón corrido. Aquí los pilares se cierran con arcos de medio punto formando una arquería continua, a través de la cual el cuadro de mandos mantiene una relación visual con la sala de máquinas³⁶. Dos ventanales laterales de forma triangular, arrimados al techo, iluminan de forma tenue el interior. La luz tangencial acentúa el peso de la cubierta y el ritmo de las paredes apilastradas.

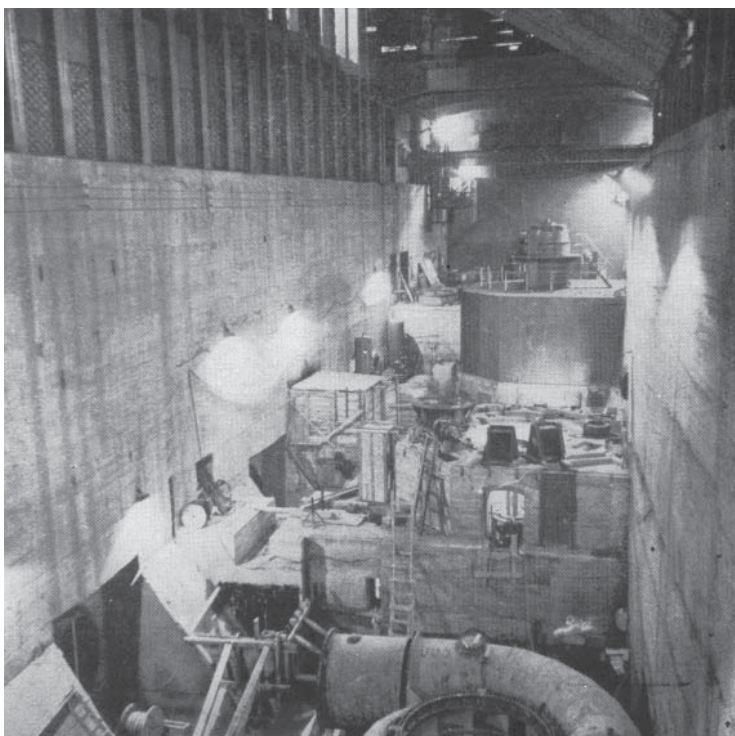
Vaquero Turcios, desde una plataforma colgada del puente grúa, pinta un mural abstracto sobre la pared aguas arriba, presidiendo la central. Pero una cosa es pensar en la presa desde la comodidad del estudio y la otra sumergirse en el mundo interior de **Salime**.

“Llevaba aquí unas semanas viendo y viviendo la emocionantísima epopeya de la construcción de la presa; el espectáculo de la obra y el paisaje, los barrenos, las aguas, las rocas y, sobre todo, esos ejércitos de hombres que trabajaban en la obra, el poblado en el que vivían los trabajadores, los bueyes que arrastraban los castilletes, todo con medios primitivos. Era como la construcción de las pirámides, y me dije, tengo que contar eso. Y me puse a pintarlo.”³⁷

Construcción de la estructura de la central en base a pilares de hormigón armado y cerchas metálicas
Lorenzo Pérez, 1954

36 Bajo el cuadro de mandos y en un nivel intermedio se sitúa la sala de disyuntores

37 Joaquín Vaquero Turcios en el cortometraje *La presa* de Jorge Rivero, 2009



De izquierda a derecha se relata el proceso completo, desde los estudios previos y la entrada del proyecto a las cortes hasta las aplicaciones de la energía eléctrica. Son protagonistas los técnicos pero sobretudo los obreros, recordando incluso a quienes dejaron la vida en accidentes laborales. Es una yuxtaposición de figuras a diferentes escalas, perfiladas en negro y blanco. En el fondo se alternan el amarillo, el azul y el gris, sustrato del primer mural abstracto, aportando luminosidad a la sala. Estos colores son los que se utilizan para el dibujo en la pared opuesta, detrás de los generadores, que remite a una “descarga eléctrica entre dos polos”³⁸. Completa la intervención mural de más de 1.000m², la decoración de las ménsulas, algunas de ellas terminadas en 2001, tras ser censuradas en su momento.

En obra, también se les ocurre a los Vaquero dibujar con tubos fluorescentes una gran chispa sobre la bóveda de hormigón de la central. Sin embargo, la limitación presupuestaria simplifica la intervención a una banda blanca ligeramente cóncava que

Los cuatro generadores en distinta fase de instalación

Lorenzo Pérez, 2003, p. 68

38 Joaquín Vaquero Palacios. Amann, Cánovas (ed.), 1998, p. 119



Sala de turbinas antes de la intervención de los Vaquero
Lorenzo Pérez, 1954

Primer mural sobre el paramento de aguas arriba, que acabará como sustrato de la propuesta definitiva
Fotografías Joaquín Vaquero Turcios.
Vázquez, Vaquero Turcios, 2004, p. 149

Sala de máquinas del salto de Salime, transformada por la intervención de los Vaquero
Fotografía Ángel Luis Baltanás y Eduardo Sánchez. Amann, Cánovas (ed.), 1998, p. 127

funciona como pantalla reflectora de los focos instalados sobre las ménsulas.

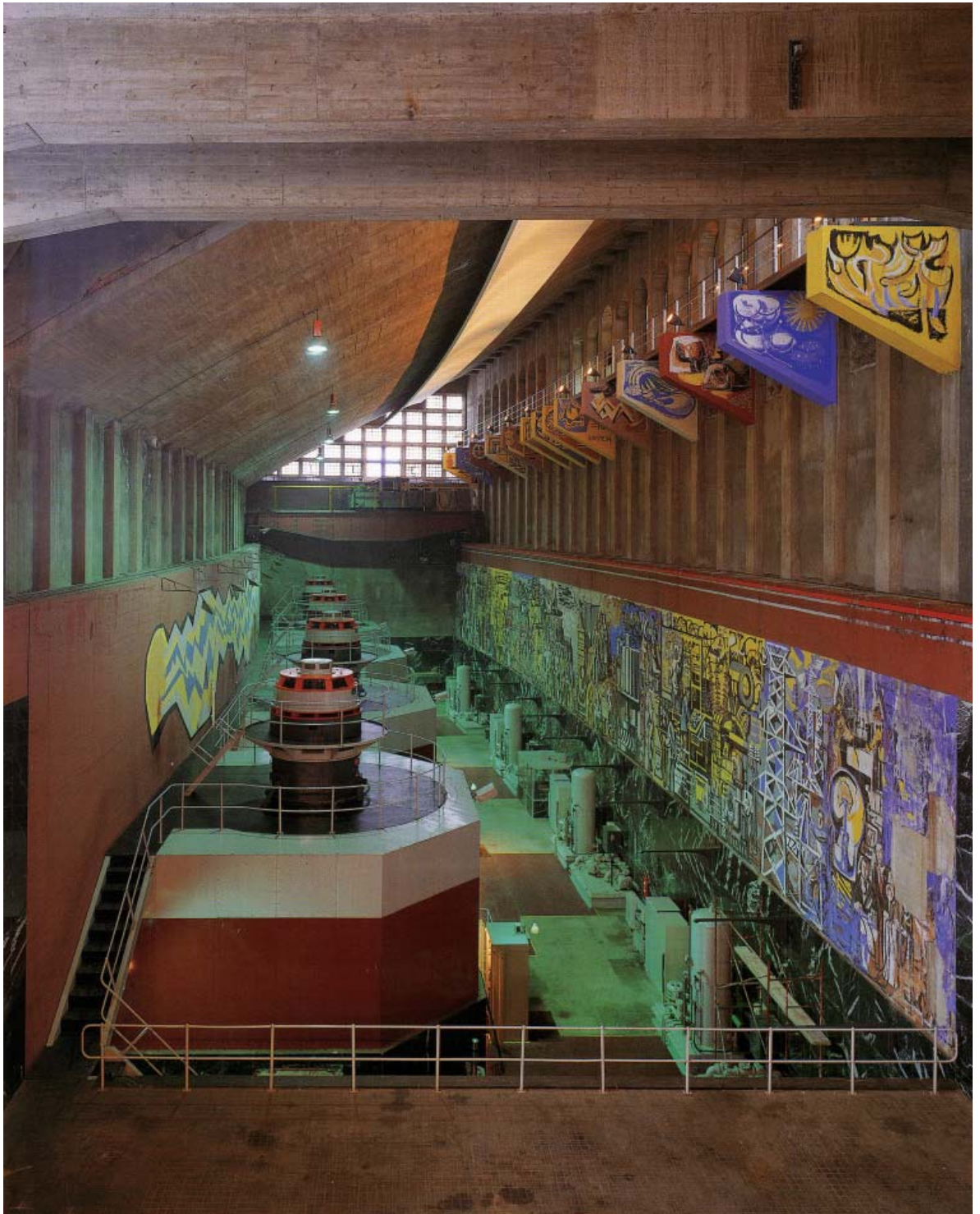
Lewis Mumford, en *Técnica y Civilización*, pone de ejemplo de lo que denomina *ambiente neotécnico*, la central hidroeléctrica de **Dneprostoi**, construida por los hermanos Vesnin entre 1927 y 1932 en el río Dniéper, en la actual Ucrania. Según Mumford, este ambiente se caracteriza por el predominio de “la calma, la limpieza y el orden”, equiparable al de los espacios domésticos más tecnificados:

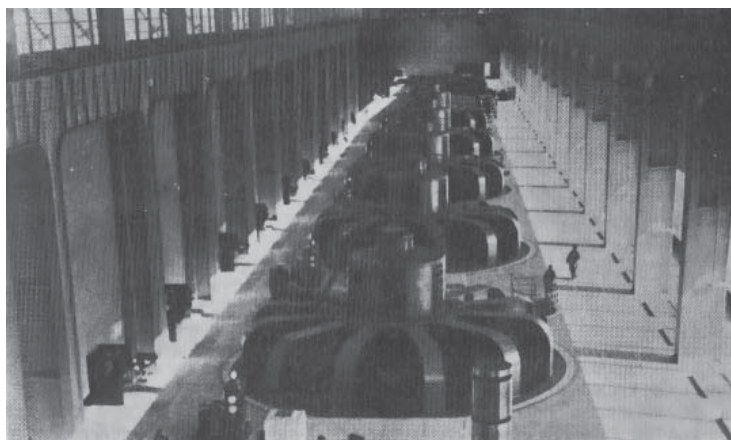
“Las mismas cualidades dominan en la central de energía que en la fábrica, en la cocina o el baño de la vivienda individual. En cualquiera de estos lugares podría uno “comer en el suelo.”³⁹

Comparada con **Dneprostoi**, saltan a la vista más diferencias que similitudes. En **Salime** es difícil determinar un suelo claro ya que, a diferencia de otras centrales divididas en plantas y en las que solo emergen las excitaciones, aquí sobresale el cuerpo entero de los generadores. El gran volumen de estos en relación al espacio de la central configura una topografía interior que desdibuja el plano del suelo. El techo también es enigmático por su forma cóncava y porque intuimos que no cubre solo la sala, sino que es algo que continua hacia ambos lados. Tampoco tiene ninguna nervadura que otorgue orden y ritmo al espacio. La iluminación natural tenue, procedente de las ventanas a ras de techo, induce a pensar que estamos soterrados, en un espacio en el que se accede descendiendo, quizá bajo una montaña. Un carácter muy diferente a la central con grandes ventanales hasta el suelo de los Vesnin.

Con esta luz, el mural principal se difumina en el ambiente interior y solo resaltan las partes con fondo amarillo, como si alguien se le acercara con una linterna en mano. Una pintura densa y abarrotada que transmite el esfuerzo de miles de personas trabajando simultáneamente y con medios rudimentarios en la construcción de la presa, en un ambiente más bien *paleotécnico*, siguiendo la nomenclatura de Mumford. Y por supuesto, nada menos calmado que el ruido de cuatro generadores en funcionamiento dentro de un espacio sin absorción acústica. **Salime** tiene

39 Mumford, 2006, p. 397





unas calidades distintas a las del espacio *neotécnico*, y seguramente no comeríamos en el suelo. Quizás no lo harían ni las figurantes de la Casa del Futuro de Alison y Peter Smithson. Parece más fácil imaginarse a unos hombres prehistóricos, en un ambiente cuyo carácter se acerca más a la gruta que a la cocina higiénica.

“Todo aquello tenía un poco un aspecto de una lucha tremenda, durísima contra la roca. A mi me recordaba más que una obra del futuro, una obra del pasado. Incluso una visión de la *Ilíada* o de las murallas de Troya, de los castillos arcaicos, primitivos, en aquel trabajo donde todavía se hacían las cosas con cuerdas y con andamios de madera. Era un espectáculo parecido a lo que debió ser el bajar de Dante a los círculos del infierno.”⁴⁰

Más relajado es el ambiente de la central de **Miranda**, construida entre 1958 y 1963 para la generación de electricidad con las aguas de los ríos Somiedo y Pigüña. Como en **Salime**, el recorrido hasta la sala de generadores es determinante para preparar sensorialmente al visitante. “Silencio y concentración necesarios para llegar a una explosión de luz y de color”⁴¹. Tras descender por un túnel una altura de 385m, desembocamos desde una cota superior en el extremo de una sala longitudinal abovedada. Dos arquerías definen los laterales y un mural espacial pintado en el fondo alarga visualmente el espacio. En el centro resaltan las

40 Joaquín Vaquero Turcios en el cortometraje *La presa* de Jorge Rivero, 2009

41 Joaquín Vaquero Palacios. Amann, Cánovas (ed.), 1998, p. 130



carcasas en rojo brillante de los alternadores, una fila de curiosas esculturas sobre un pedestal gris oscuro. Baña el espacio la luz procedente de unas ventanas entreabiertas retroiluminadas entre los arcos de un lateral, desde las que también se realiza la ventilación forzada de la sala. La electricidad permite que el lugar más profundo de la instalación parezca un pabellón en superficie.

Vaquero Palacios y Vaquero Turcios intervienen en 1980 en la caverna de **Tanes**, después de una década de obras. Es una central reversible situada entre el pantano del mismo nombre y el de **Rioseco**, en el río Nalón. En este espacio subterráneo conservan a la vista los paramentos de roca en los que la sala está tallada. El acabado tenso y brillante del acero inoxidable que reviste las pilastras del puente grúa, enmarca, refleja y resalta la textura de los paños de piedra abombada. A diferencia de **Miranda**, aquí la intervención se concentra en el techo, aligerando la pesantez de la bóveda de hormigón que reviste la roca, como si la sala fuera en realidad un “canal abierto al cielo”⁴². Las figuras abstractas en blanco y amarillo recortadas sobre un fondo gris azulado oscuro se extienden a la pared del fondo, ampliando otra vez profundidad de la sala.

Un balcón corrido delimita por los cuatro lados el espacio deprimido respecto el nivel del terreno en la central de **Proaza**, construida entre 1964 y 1968 para el aprovechamiento de las aguas de los ríos Quirós y Teverga. Dos excitatrices presiden el fondo de la sala, sobre un suelo completamente plano. Las

Centrales hidroeléctricas de
Dneprostroi en la actual Ucrania y
Chastang en Francia

Fotografía Sovfoto. Mumford, 2006, p. 397
/ Fotografía Gilbert Gillou

42 Joaquín Vaquero Palacios. Amann, Cánovas (ed.), 1998, p. 162

acompañan murales alegóricos a los campos magnéticos sobre soportes metálicos suspendidos entre los vanos estructurales. La cintura a nivel del terreno que señala el balcón adquiere autonomía por la luz natural que entra desde la banda de ventanas perimetrales. Encima de este nivel resalta la estructura porticada sobre el fondo azul de los paneles de cerramiento. Con un recurso espacial similar al empleado en **Tanes**, incidiendo en la desmaterialización del techo, podemos leer la relación que establece el espacio excavado con la estructura como la de un patio cubierto por una pérgola de grandes dimensiones. Atendiendo al diseño de la carcasa de las excitatrices y a los murales que lo presiden, parece que nos encontramos en un jardín de esculturas.

Sorprende la ligereza de la estructura interior habiendo conocido primero la parte exterior, un edificio pesado y monolítico, un volumen tallado de un bloque de hormigón. Formalizan la fachada unos paneles triangulares de directrices inclinadas, otorgando al conjunto una gran vibración. De hecho, la escala de los pliegues no responde al edificio, más bien alude al entorno geográfico. La gran explanada frontal y posterior deja suficiente espacio libre para que resalte el carácter escultórico del volumen; el campo de visión es el necesario para observarlo en relación a los macizos de caliza blanca que lo rodean. Respeto al entorno, el edificio también podríamos leerlo como una escultura en un jardín, esta vez a otra escala, acompañada de antiguas máquinas y restos de la construcción repartidos por la explanada sobre pedestales de hormigón.

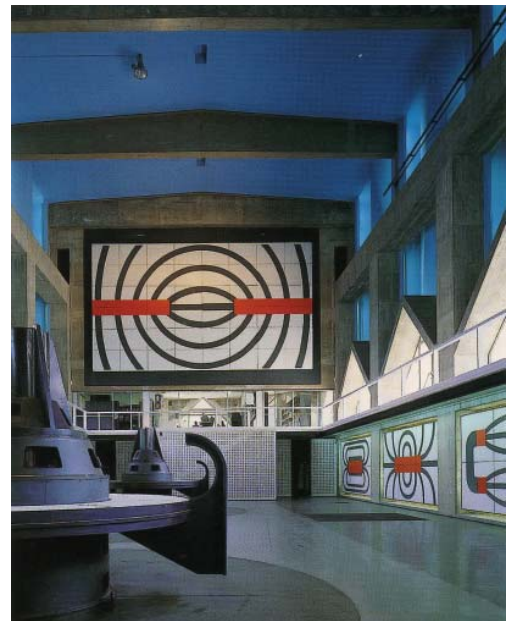
Vaquero tubo la oportunidad de proyectar desde cero la central de **Proaza**. “Nada hay más difícil que poder hacer lo que uno quiera”⁴³, afirmaba. En **Miranda**, **Tanes** e incluso **Salime**, Vaquero realza o subvierte las características espaciales de un espacio excavado. Ante la hoja en blanco, recrea una formación geológica, una abstracción de la garganta de Peñas Juntas⁴⁴. La iluminación indirecta interior en **Proaza** acentúa el facetado triangular de las paredes evidenciando su carácter de cáscara, de lámina delgada y plegada. Una construcción que se aproxima más al trabajo de la papiroflexia, en contraste al espacio moldeado

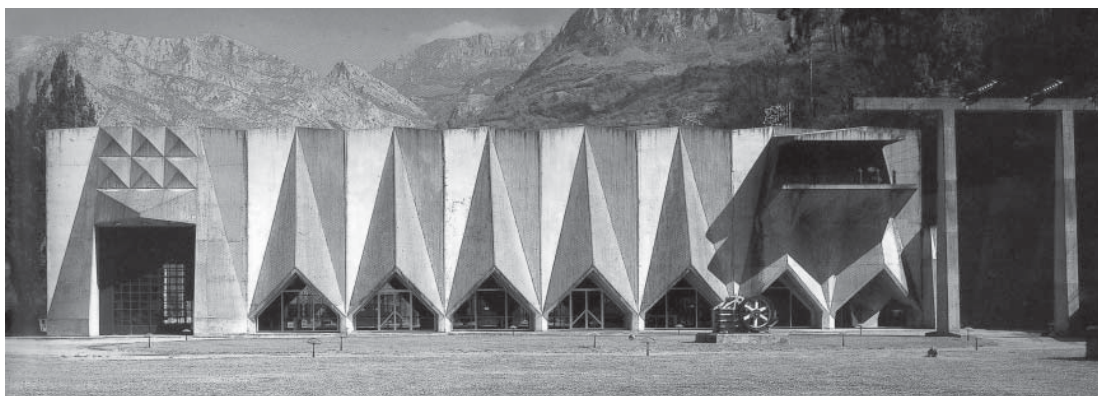
Salas de turbinas de las centrales de Miranda, Tanes y Proaza

Fotografías Ángel Luis Baltanás y Eduardo Sánchez. Amann, Cánovas (ed.), 1998, pp. 132, 145 / Central de Tanes, Pérez Lastra, 1992, p. 236

43 Joaquín Vaquero Palacios. Amann, Cánovas (ed.), 1998, p. 136

44 Según el recuerdo de un paisaje visitado de niñez, acompañando a su padre en las expediciones de prospección previas a la construcción de la central de La Malva en Somiedo





que afronta en el resto de centrales. Sin embargo, persiste el juego subversivo y el efecto sorpresa, en el que la pintura y la escultura son grandes aliadas para transformar el carácter del espacio.

También parecería responder a este modo de operar, el dar forma y rigidez doblando un elemento fino, la central de **Arbón**⁴⁵, aunque de manera más contenida y no tan abstracta. Es una obra coetánea construida entre 1962 y 1969 por Ignacio Álvarez Castelao (1910-1984) para Electra de Viesgo. Sumada a la central de **Silvón**, levantada en posición transversal a los pies de la presa de **Doiras** en 1958 y a la central de **Arenas de Cabrales** del mismo año, constituyen la tríada de obras del Álvarez Castelao para la compañía. El tratamiento de la luz natural, con entradas indirectas en **Arbón** o con grandes vidrieras en las que colabora el pintor Antonio Suárez en el caso de **Silvón**, es el eje que rige el trabajo espacial.

Los trabajos de Vaquero y Castelao completan un conjunto de siete centrales hidroeléctricas ejemplares⁴⁶ en el que se funden arte, arquitectura, ingeniería y paisaje. Un conjunto que brilla con más intensidad al producirse en un ámbito geográfico reducido, apartado además de los centros de poder y los focos culturales alrededor de las escuelas de arquitectura de Madrid y Barcelona.

Los edificios de Castelao en colaboración con el ingeniero Juan José Elorza son planteados de forma autónoma, sin vinculación con las presas, reservadas estas a los ingenieros. Sin voluntad de quitarles valor, resalta aquí el resultado del trabajo

Central de Proaza

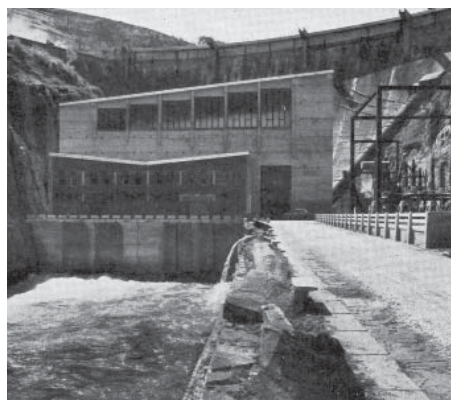
Fotografía Ángel Luis Baltanás y Eduardo Sánchez. Amann, Cánovas (ed.), 1998, p. 137

Centrales de Doiras, Arenas de Cabrales y Arbón, de Ignacio Álvarez Castelao

Cuadernos de Arquitectura, 1960, núm. 41, pp. 29, 30 / *Arquitectura*, 1962, núm. 47, pp. 23, 24 / Central de Arbón, fotografías Ángel Sanchís; Luis Argüelles. Fundación Docomomo Ibérico

45 Es especialmente interesante el poblado para los trabajadores de Arbón en Navia, formado por una agregación en tapiz de casas con cubiertas a dos aguas

46 Las siete centrales están incluidas en el registro Docomomo Ibérico



de Vaquero. Sus intervenciones, lejos de constituir un ejercicio aislado, se suman a obras en construcción en las que el arquitecto tiene una capacidad de actuación limitada.

“Es entonces cuando aún, se está a tiempo de entrar en contacto con ella, comprenderla y aplicarle un tratamiento adecuado que la haga “vivir”. Pero esto no puede llamarse “integración”. Esto sería “decoración”. La integración exige estar presente desde la gestación.”⁴⁷

Sin embargo, a la vista de los resultados, Vaquero no necesita partir cero para alcanzar una completa integración. Su obra en **Salime** y el resto de centrales es un catalizador para potenciar aquellos aspectos más relevantes, para transformar completamente el carácter del espacio.

La planta de la sala de mandos de **Salime** tiene un carácter diferente a la nave de turbinas. La arquería acristalada, el falso techo escalonado bañado con luz indirecta, el mobiliario de oficina diseñado ex profeso o el pavimento brillante de terrazo de pizarra indican que ya no es un espacio para la maquinaria pesada. Le otorgan otra escala, acorde a las personas, anticipada por la escalera de hormigón con muros de mármol rojo y barandillas hechas con restos de la construcción. La calidad superficial de los materiales es agradable al tacto. De algún modo el visitante palpa físicamente por primera vez la presa después del largo recorrido. Sin embargo, el ruido de los generadores



47 Joaquín Vaquero Palacios. Amann, Cánovas (ed.), 1998, p. 116



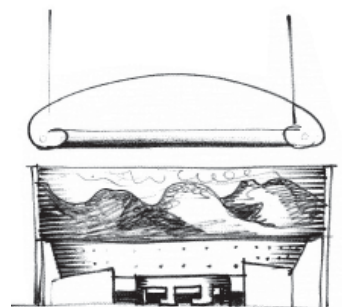
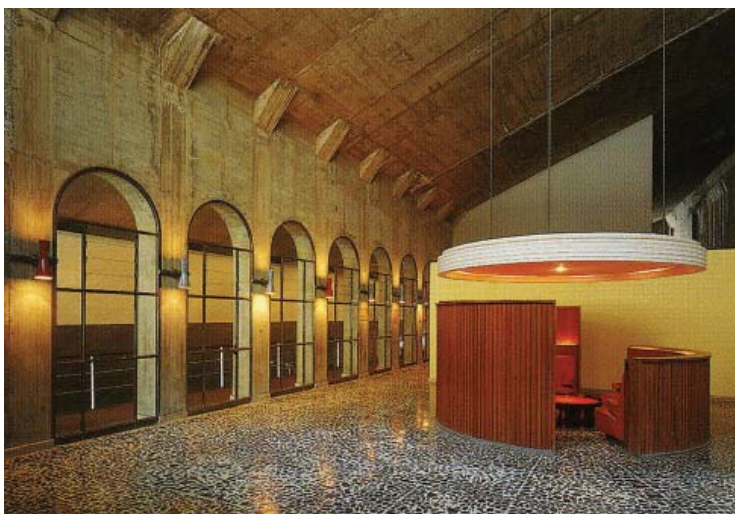
Escaleras de acceso a la planta superior, sala de mando y *el Refugio*
Fotografías Ángel Luis Baltanás y Eduardo Sánchez. Amann, Cánovas (ed.), 1998, p. 126 / Sala de mando y primer plano de *el Refugio*, fotografías Carlos Copertone

también alcanza la planta superior. Vaquero proyecta una escapatoria a este ambiente, un morada silenciosa para poder charlar tranquilamente, *el Refugio*. Es un banco anular de cuero rojo con alto respaldo y reposabrazos, dispuesto alrededor de una mesita central y techado por un disco blanco con luz indirecta suspendido del aliviadero.

Es un estuche dentro de un gran espacio, como el estudio de San Jerónimo dentro del templo⁴⁸, como la cabaña con cajas de cartón en la habitación de un niño. Es un mundo interior dentro los intersticios de la presa. En los bocetos preparatorios, Vaquero dibuja un paisaje de cumbres montañosas en el pretil alto, a modo de panorámica envolvente. Representa una ventana a un mundo que ahora parece lejano, un entorno natural, quizá el valle del Navia. Como el ciclo del agua, como el agua turbinada servida al siguiente embalse, el final del recorrido es aquí el inicio.

Mientras Vaquero Turcios pintaba los murales, se le pide el diseño de un mirador sobre el nuevo paisaje. Proyecta un balcón cubierto con un perfil en boca de pez, aguas abajo de la presa y por encima de la cota de coronación. Es una estructura de hormigón armado saliendo en voladizo de la ladera rocosa, una escultura sobre el vacío que desaloja la presa aguas abajo. El nuevo mirador permite, ahora sí, verla en toda su magnitud, facilitando la comprensión de su encaje en la cerrada. Pero sobretudo

48 Antonello da Messina. *San Jerónimo en su estudio*, 1474-1475



facilita una lectura integral de la obra, reuniendo en el mismo campo de visión presa, poblados, planta de cemento, estructuras auxiliares y una maraña de líneas eléctricas que como un manojo salen de su pie y ascienden hasta las cumbres⁴⁹. Es la conexión del mundo interior de **Salime** con Asturias, Galicia y Santander, que posteriormente, mediante la interconexión de redes de otras compañías⁵⁰, será extendida hacia otras partes del norte y centro de la península.

Visto desde aquí, el coronamiento de la presa dibuja con rotundidad una línea horizontal sobre este paisaje; una línea cartesiana que divide la cerrada en dos; una línea que viene definida por la cantidad de agua a embalsar y la cantidad de energía a producir. Frente el desorden aparente del gran número de construcciones esparcidas por las laderas, la horizontalidad de la coronación es el reflejo más contundente de la construcción de un nuevo paisaje, de la racionalidad. Es también la frontera entre aguas arriba y aguas abajo, entre un paisaje borrado por el agua embalsada y otro que nos recuerda como era el río antes de la construcción del pantano.

El arquitecto Vaquero Palacios puntúa esta línea de coronación proyectando tres garitas flanqueadas por dos grandes

49 La propuesta de declaración como Bien de Interés Cultural del Salto de Salime, redactada por Clara Rey-Stolle Castro, incorpora el salto y elementos auxiliares bajo la calificación de Conjunto Histórico

50 General Gallega, Barras Eléctricas Galaico-Asturianas, Compañía Eléctrica de Langreo, Ponferrada e Iberduero



esculturas. Se sitúan sobre los cinco espaldones que embocan y dividen el aliviadero. Para las figuras, primero piensa en dos grandes centauros como símbolo de fuerza, después en un par de osos típicos de la fauna local y finalmente en un par de ferres, aves de presa también existentes en la zona. Apoyarían la cola en un pedestal cuadrangular superpuesto al espaldón aguas arriba y las patas sobre la cara opuesta, alcanzando en conjunto los 10m de altura.⁵¹

Solo se contruyen las tres casetas, porque entran en presupuesto pero también porque son la sala de mandos de las cuatro de las compuertas del aliviadero. Levantadas sobre el paramento aguas arriba, a un lado de la vía de coronación, siguen en planta el perfil de las embocaduras del aliviadero. La cubierta sobresale del cuerpo hacia aguas abajo, protegiendo la entrada. Su perfil ondulado responde a un acorde tangencial del radio que describe el giro de la compuerta con el plano horizontal que remata los ventanales hacia aguas arriba. Cada una de las aperturas, de planta apuntada y perfil inclinado, recuerda a la forma de un ojo. Son tres los ojos abiertos sobre el agua embalsada, sobre el paisaje construido por la presa, sobre un plano horizontal en medio del valle del Navia; una escapatoria al mundo interior de **Salime**.

Enfrente de cada garita, sobre el paramento aguas abajo, unos balcones semicirculares en voladizo colmatan los muros de guiado del aliviadero. Visto a distancia, casetas y balcones se entienden como partes inseparables del mismo remate, pero además los balcones asumen el trascendental papel de poner en relación las casetas con todo el aliviadero.

“[Vaquero Palacios] sintió intuitivamente la necesidad de rematar la coronación del Salto con dos grandes volúmenes escultóricos. Y es verdad que, entendida la presa como un elemento arquitectónico en sí misma, pedía ese remate.”⁵²

A pesar de no poder construir las dos grandes figuras, las casetas de mando colmatan perfectamente la presa de **Salime**. Se planean a media obra y con un coste ínfimo, pero su

El mirador sobre la presa y el valle del Navia
Informes de la Construcción, núm. 88

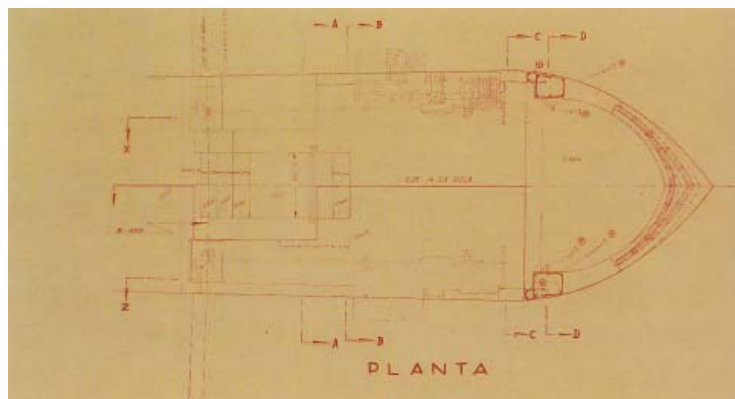
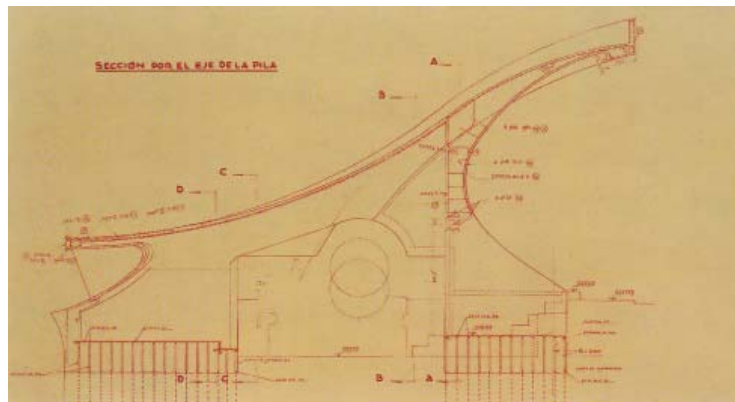
51 No se llegan a construir por su elevado coste, pero se conserva un mural y un modelo en escayola a escala 1/10 junto al sofá anular

52 Vázquez, Vaquero Turcios, 2004, p. 145



relevancia desde el punto de vista compositivo no se limita al papel de guinda de pastel, sino al de la clave de arco de toda la estructura. La intervención, a pesar de ser puntual, minúscula en relación a los 134m de altura del paramento, tiene la capacidad de transformar la presa. Esto se debe a que su diseño lee y amplifica los atributos del paramento. Las casetas de mando coronan los muretes de guiado del aliviadero, que son las únicas aristas que sobresalen de la planicidad del paramento, realzando su perfil y otorgando verticalidad al conjunto. Las garitas y los balcones de pequeño tamaño responden a la escala de toda la presa. Una cosa que difícilmente se habría conseguido con el par figuras, a pesar que sus grandes dimensiones parecerían a priori más adecuadas. Además, el lenguaje utilizado en el remate contamina todo el salto porque no pretende una diferenciación clara, sino que indaga en las geometrías existentes. Del mismo modo que el paramento, son fruto del relleno de un molde y su figura recoge las formas hidrodinámicas de la embocadura del aliviadero. El resultado es una obra que se percibe unitaria como si saliera de la mano de un mismo proyectista, un excelente ejemplo de integración de las artes.

La presa de Salime vertiendo, con el mirador a la izquierda de la imagen
Informes de la Construcción, núm. 88



Los Vaquero proyectan sus intervenciones desde Roma. El padre es subdirector y seguidamente director de la Academia Española de Bellas Artes en la ciudad entre 1950 y 1960 y el hijo combina los estudios de arquitectura con la pintura y la escultura. La presa es presente todos los rincones del estudio:

“una maqueta de trabajo grande, de contrachapado y listones de madera, de más de dos metros de longitud, que habían construido los hermanos Arnaboldi, unos magníficos carpinteros ebanistas que trabajaban en el Trastevere, al pie del Gianicolo. (...) Por las paredes había pinchadas fotografías de la obra del Salto, las famosas fotos de Pando, y encima de los tableros y las mesas, los planos de ingeniería de la obra y los primeros bocetos.”⁵³

Planta y sección por el eje de la pila de las garitas

Amann, Cánovas (ed.), 1998, p. 122

53 Vázquez, Vaquero Turcios, 2004, p. 141



La intervención es proyectada desde la distancia, alejada del frenesí constructivo de las obras. Pero la ejecución de los murales implica una inmersión en el mundo interior de **Salime**, adaptando lo previsto a las contingencias funcionales y vivenciales a pie de obra.

A este lugar recóndito, los Vaquero convocan una constelación de referencias que tiende relaciones con la historia del arte universal. Eric Mendelson, Paul Bonatz o Eero Saarinen; Orozco, Rivera, Siqueiros, Guttuso, Fouquet, Portinari; Mario Sironi y

Coronación de la presa desde aguas arriba y aguas abajo

Vaquero Palacios, Fernández Fernández, Toribio, 1980, pp. 11, 14

Mural con el ferre de hormigón diseñado para coronar la presa

Aguiló Alonso, 2002, p. 280



El ojo de la garita sobre el embalse
Fotografía *ninguna mas*

La presa coronada en vertido
Vaquero Palacios, Fernández Fernández,
Toribio, 1980, p. 10

Massimo Campigli; la puerta de los leones de Micenas, el valle de los Reyes, Chichen Itzá. De alguna manera están presentes en los proyectos del salto de **Salime** y el resto de centrales para Hidroeléctrica del Cantábrico. Cada parte de la obra remite a sus propias referencias y el conjunto reúne las inquietudes de padre e hijo. Sobre todas planea un interés por la integración de las artes, uno de los aspectos que Vaquero Palacios más valoraba de las culturas maya y egipcia.⁵⁴

Del mismo modo que la presa con la que se enfrentan los Vaquero, las arquitecturas de estas civilizaciones carecen de una concepción del espacio interior. Es lo que Sigfried Giedion denomina la primera concepción espacial arquitectónica en que “se colocaban objetos escultóricos -volúmenes- en el espacio ilimitado”⁵⁵. El interior no será el centro de atención hasta el siguiente período que empieza con la época romana cuando se toma conciencia de la arquitectura como espacio interior hueco, directamente vinculada al desarrollo de nuevas formas de cubrición.

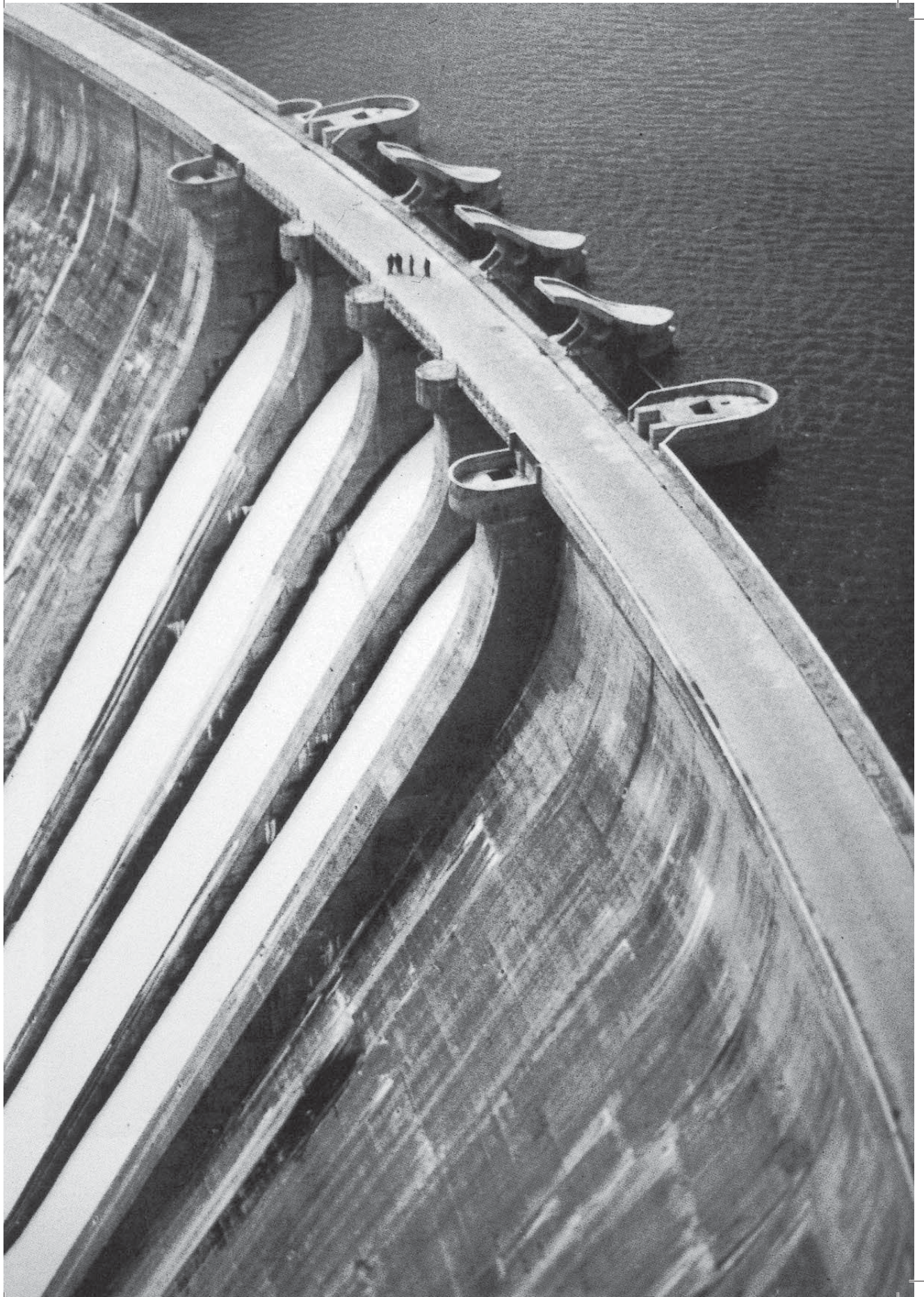
La construcción de los cimientos de un edificio en Malta en 1902 topan con lo que podría ser un antiguo santuario. Este es el hipogeo de Hal Saflieni, el primer templo prehistórico excavado a la roca conocido, que se remonta a la edad del bronce, hacia el 2500ac. Se estructura en tres niveles diferentes, en el segundo de los cuales concentra un conjunto de salas finamente decoradas con figuras geométricas. El tercer nivel se estima que era un almacén de grano, y la última cámara, el lugar más recóndito, alojaba el tesoro máspreciado. De un modo similar ocurre en **Salime** o **Miranda**, donde la sala de turbinas es la estación final de un largo recorrido. Las actuaciones de los Vaquero se focalizan en la puerta de entrada y en este espacio, deparando una sorpresa al visitante.

Investigaciones recientes⁵⁶ revelan que la configuración espacial de la sala de Oracle del Hal Saflieni afecta directamente la esfera emocional de quienes la visitan, potenciando la experiencia mística de los ritos allí realizados. Algún paralelismo puede

54 Estudia el arte y la arquitectura maya en profundidad, sobre la que publica varios artículos en la *Revista Española de Arte*. Durante su estancia en Roma realiza varios viajes para pintar las arquitecturas de Egipto y Grecia

55 Giedion, 2002, p. 490

56 Llevadas a cabo por Paolo Debertolis y Niccolò Bisconti de las universidades de Trieste y Siena respectivamente. Debertolis, Bisconti, 2003





establecerse con la intervención de Vaquero en las centrales hidroeléctricas, especialmente en **Salime**, donde su aportación construye una atmósfera que trasciende lo puramente físico.

“[Vaquero logra] no solo un conjunto artístico, sino una especie de clima particular en los interiores de las vastísimas salas de máquinas, algo así como un “suspense”, una sensación casi religiosa de calma detenida tras la cual vibra la presencia poderosa de la energía”⁵⁷

En el museo arqueológico de La Valeta se conserva un modelo que reproduce los espacios interiores del hipogeo, realizado a partir del vaciado de un bloque de barro. Es una prueba clarividente del control espacial que tenían los constructores del templo subterráneo, constituyendo una excepción a las etapas evolutivas en la concepción del interior arquitectónico que propone Giedion. La central de **Salime**, embebida en el aliviadero, viene formalizada por aspectos de carácter estrictamente técnico y la sala resultante no está realmente proyectada. Sin embargo, los trabajos de “acabado” de los Vaquero le otorgan sentido espacial, que sumado a los aspectos anteriores, transforman el espacio intersticial en un mundo interior.

Vaciado del templo esculpido
descubierto en Ta' Hagra,
conservado en el Museo arqueológico
de La Valeta

Fotografía Ghettalet

⁵⁷ Vaquero Palacios, Fernández Fernández, Toribio, 1980, p. 8

Pactar con la cerrada

Aldeadávila

En la obra hidráulica la exigencia de naturalidad es mucho más fuerte que en cualquier otra obra de ingeniería. El artificio que el hombre introduce ha de ponerse a prueba dentro de la organización más potente del mundo físico, en el sistema circulatorio fluvial, donde se actualiza la energía geomorfológica más importante.

Carlos Fernández Casado¹

I. La conquista del lejano oeste

La fisiografía peninsular caracteriza una red fluvial de perfil escalonado, alejada de la “forma típica de hipérbola cóncava”². Después de los desniveles importantes en cabecera, se alternan tramos de poca pendiente con rápidas en los cursos medios e incluso inferiores. Esto da lugar a un escalonamiento idóneo para los sistemas de aprovechamiento, según el cual las presas cierran sucesivos portillos, inundando el valle superior y abasteciendo las llanuras inferiores.

Siguiendo este marco general, destaca el río Duero por su peculiar trazado. Tras el descenso de los picos de Urbión, dos terceras partes de sus casi 900km de longitud discurren en suave pendiente por los terrenos terciarios de la meseta norte, cuya altitud media es de 850msnm. El ancho cauce describe un recorrido divagante por las amplias riberas que caracterizan la cuenca entre Soria y Zamora. Recibido el caudaloso Esla, que recoge las aguas de los montes de León en la cordillera Cantábrica, el Duero se encañona en los materiales hercínicos graníticos y sedimentarios

¹ Carlos Fernández Casado. “La expresión geográfica de las obras de ingeniería”. 3ª parte. *Estudios Geográficos*, 1950, núm. 39, p. 187

² Sáenz Ridruejo, Sáenz Sanz, 2006, p. 10

de las Arribes que inducen un giro en su trayectoria, para desembocar en el Atlántico tras otro tramo de escasa pendiente, recuperando la dirección este-oeste.

El brusco desnivel de 557m del cauce, entre la meseta y Portugal, se concentra en un tramo de unos cien kilómetros, pasando de la cota de 682 a 125msnm en Saucelle³, lo que supone un descenso medio de cinco metros y medio por kilómetro. El río abre un tajo en el altiplano, un cañón con paredes verticales que superan en algunos puntos los 400m de altura, manteniéndose el terreno circundante a la cota superior⁴. Es un paisaje abrupto y violento, solitario y conmovedor, como describe una persona especialmente atraída por las Arribes, Miguel de Unamuno:

“Resquebrájase la meseta en hondos desgarrones, mostrando al descubierto sus berroqueñas entrañas, pedernosos cimientos de la ceñuda tablada de Castilla. El agua terca, que talla las rocas gota á gota con secular trabajo, ha ido carcomiendo su peñascoso lecho y buscando salida entre esquinces y revueltas. A la distancia nadie adivina el hondo tajo por donde el Duero corre: la ondulante llanada parece ir á perderse suavemente y sin solución alguna de continuidad en las estribaciones de la sierra de la Estrella, que cierran, hacia Portugal, el horizonte. En uno de los repliegues de ese terreno se ocultan los hondos tajos, las encrespadas gargantas, los imponentes *cuchillos*, los erguidos *esfayaderos*, bajo los cuales, allá, en lo hondo, vive el Duero, ya espumarajeando las rocas que aun no han cedido á su tozuda labra, ya despeñándose en desniveles, ya parándose un momento á descansar en angostos remansos, ya, por fin, zumbando bajo los peñascos, en las *espundias*.”⁵

Si la regulación del Duero mesetario sólo puede acometerse por los afluentes o desde la cabecera, las Arribes presentan una oportunidad de oro para el aprovechamiento hidroeléctrico. El importante desnivel es sostenido durante un tramo relativamente

Emplazamiento de la presa de Aldeadávila en el corazón del cañón de las Arribes, en 1956
Archivo Iberdrola. Chapa Imaz, 1999, p. 324

3 Chapa Imaz, 1999, p. 38

4 La brusca diferencia de altitud da lugar a una climatología diferenciada. Frente al clima continental de la meseta, en el valle impera un microclima mediterráneo como refleja el tradicional cultivo de cítricos en la ladera portuguesa

5 Miguel de Unamuno. “Los Arribes del Duero”. *Hojas Selectas*, 1905, núm. 37, p. 20. Versión completada y revistada tras un segundo viaje a las Arribes de un texto inicialmente publicado en *Ecos Literarios* en 1898



largo, al que cabe añadirle las últimas etapas de los tributarios Tormes, Huebra y Águeda, que también son Arribes. Este episodio sucede al final del curso medio y después de haber recibido importantes afluentes, con lo que el caudal que cruza el cañón es importantísimo. Su fisiografía ofrece, además, una oportuna sucesión de cerradas de buena calidad desde el punto de vista topográfico y geológico.

La sociedad El Porvenir de Zamora, participada por el ingeniero y empresario Federico Cantero Villamil, termina en 1903 la primera instalación hidroeléctrica en la cuenca del Duero. **San Román** aprovecha un salto de 14m entre los extremos de un meandro, suministrando energía a Zamora y más adelante a Salamanca y Valladolid. Cantero entiende que es imprescindible expandir el negocio aprovechando el cañón que se abre aguas abajo de esta primera presa, y así lo expresa en 1915 ante los accionistas:

“... poner en nuestra posesión y por nosotros mismos las riquezas naturales que ante los ojos Dios nos ofrece y que serían la fuente más segura y permanente de alimentación de nuestras futuras, poderosas y fertilizadoras industrias.”⁶

En efecto, las Arribes constituyen una excelente oportunidad para El Porvenir, pero también son su peor amenaza en caso de caer en manos de la competencia, lo que derivaría en un hundimiento del precio de la electricidad. Rápidamente, el ingeniero zamorano solicita la concesión de tres saltos hasta la desembocadura del Tormes⁷, con una explotación basada en presas con derivación a la central por un canal lateral.

A pesar de la reticencia de los accionistas, Cantero está en lo cierto; Eugenio Grasset, Fernando Celayeta y Manuel Taramona fundan en 1906 la Sociedad General de Transportes Eléctricos para llevar a cabo varios aprovechamientos en el cañón del Duero. Hacía tres años que recorrían la parte salmantina del cañón, estudiando las posibilidades de una instalación entre el Tormes y el Huebra, también en canal. No se conforman sólo con esto,

6 Federico Cantero Villamil. Díaz de Aguilar Cantero, Suárez Caballero, 2007, p. 67

7 Salto de Trechón de 10m, aguas abajo de San Román; salto de Santiago de entre 36 y 38m, en Villalcampo; salto Grande del Duero de 90m, entre Villardiegua de la Ribera y Fermoselle, con un canal de derivación de 32km por la margen española. Díaz de Aguilar Cantero, Suárez Caballero, 2007, p. 67

sino que piden además la concesión de un tramo aguas arriba en competencia directa con Cantero.

Pero todas las propuestas tropiezan con el mismo escollo: la frontera. El cañón de las Arribes dibuja la divisoria entre España y Portugal, con lo que la mitad de cada presa estriba en un país diferente. El convenio hispano portugués Ortuño-Costa de 1912 dictamina que las concesiones deben tramitarse por separado en cada administración. A la práctica, este acuerdo se traduce en el bloqueo sistemático de cualquier propuesta por el silencio administrativo del gobierno portugués.

Tras años de intentos frustrados, en 1917 se incorporan a la compañía de Grasset dos personas clave para el encauzamiento de la solución, José Orbegoza y Pedro Icaza. Orbegoza está experimentado en la redacción de planes de aprovechamiento hidroeléctrico y también en la gestión empresarial. Examinadas las Arribes, expone claramente cuál debe ser la estrategia a seguir: es necesario entender la totalidad del cañón del Duero y sus afluentes como un sistema único, integrando a todos los concesionarios. Es imprescindible, además, regular el fluctuante caudal desde los ríos tributarios para asegurar una reserva de agua que rentabilice la inversión de las centrales a construir.

Con este objetivo, se crea en 1918 la Sociedad Hispano-Portuguesa de Transportes Eléctricos, Saltos del Duero. La respalda un consorcio participado por el Banco de Bilbao, que proporcionará liquidez al proyecto, y los titulares de las concesiones. Por un lado la Sociedad de Transportes Eléctricos y por el otro Horacio Echevarrieta, quien había adquirido las opciones y derechos de El Porvenir.⁸ Desde un inicio hay una patente voluntad de allanar el campo para las futuras negociaciones con Portugal. El nombre de la compañía no es casual, y también se buscará la entrada de capital luso al proyecto a través del Banco Nacional Ultramarino, que finalmente será desestimada.

Entre 1919 y 1920 se redactan un mínimo de ocho propuestas, solicitando una concesión para cada una de ellas a nombre de la compañía o personas afines. Federico Cantero Villamil es el ideólogo y responsable de la mayor parte de estos proyectos,



Federico Cantero Villamil a caballo, la única forma de explorar las Arribes del Duero a principios de siglo
Archivo familiar. Díaz de Aguilar Cantero, Suárez Caballero, 2007, p. 65

⁸ Chapa Imaz, 1999, p. 63



José Orbegozo en Ricobayo, 1930
Muriel Hernández, Chapa Imaz, 2002, vol. 1, p. 126

Solución Orbegozo de 1924 para el aprovechamiento integral de los saltos del Duero, en la que se plantea la presa de Aldeadávila
Orbegozo Gorostegui, 1925, pp. 569, 570

aportando el conocimiento adquirido tras años de estudio de este tramo del Duero.⁹

El proyecto principal es la *Solución española de los Saltos del Duero*, conocida más adelante como *Solución Ugarte*. Propone dos presas en la cabecera del sistema, una en el Esla -próxima a la presa de **Ricobayo** actual- y otra a las puertas del tramo internacional del Duero en Villaredégua. A partir de aquí, el agua es desviada a través de un canal íntegramente trazado por territorio español hasta una central en la desembocadura del Tormes. Justo antes de alcanzar el Duero, las aguas vuelven a ser canalizadas hasta otra central en el río Huebra.

Desde el punto de vista técnico no es el mejor planteamiento, pero este proyecto es una exhibición de fuerza, un aviso al gobierno portugués que la compañía está dispuesta a desarrollar el aprovechamiento bajo cualquier circunstancia. En estos términos resume la propuesta Federico Cantero:

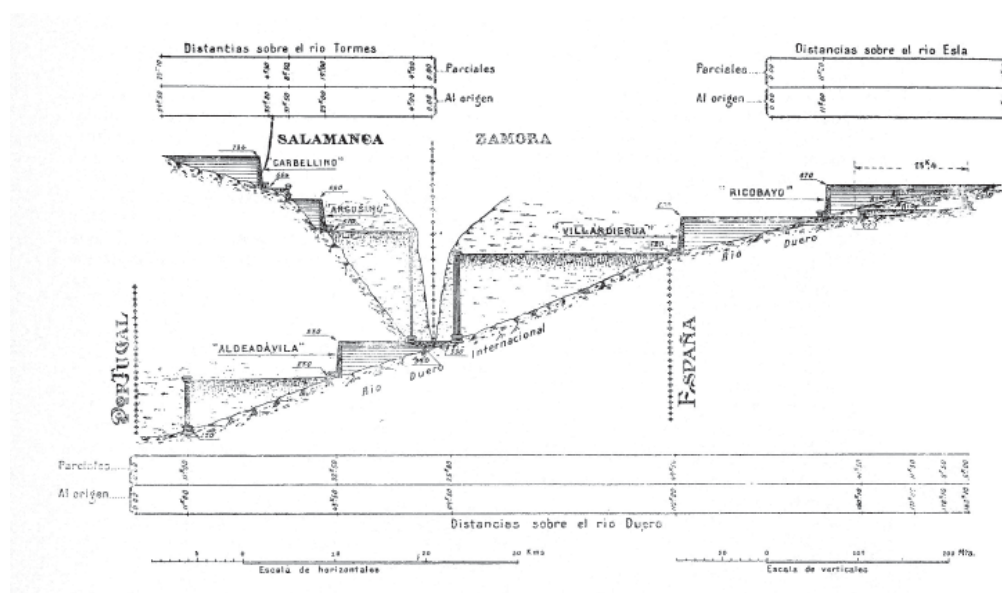
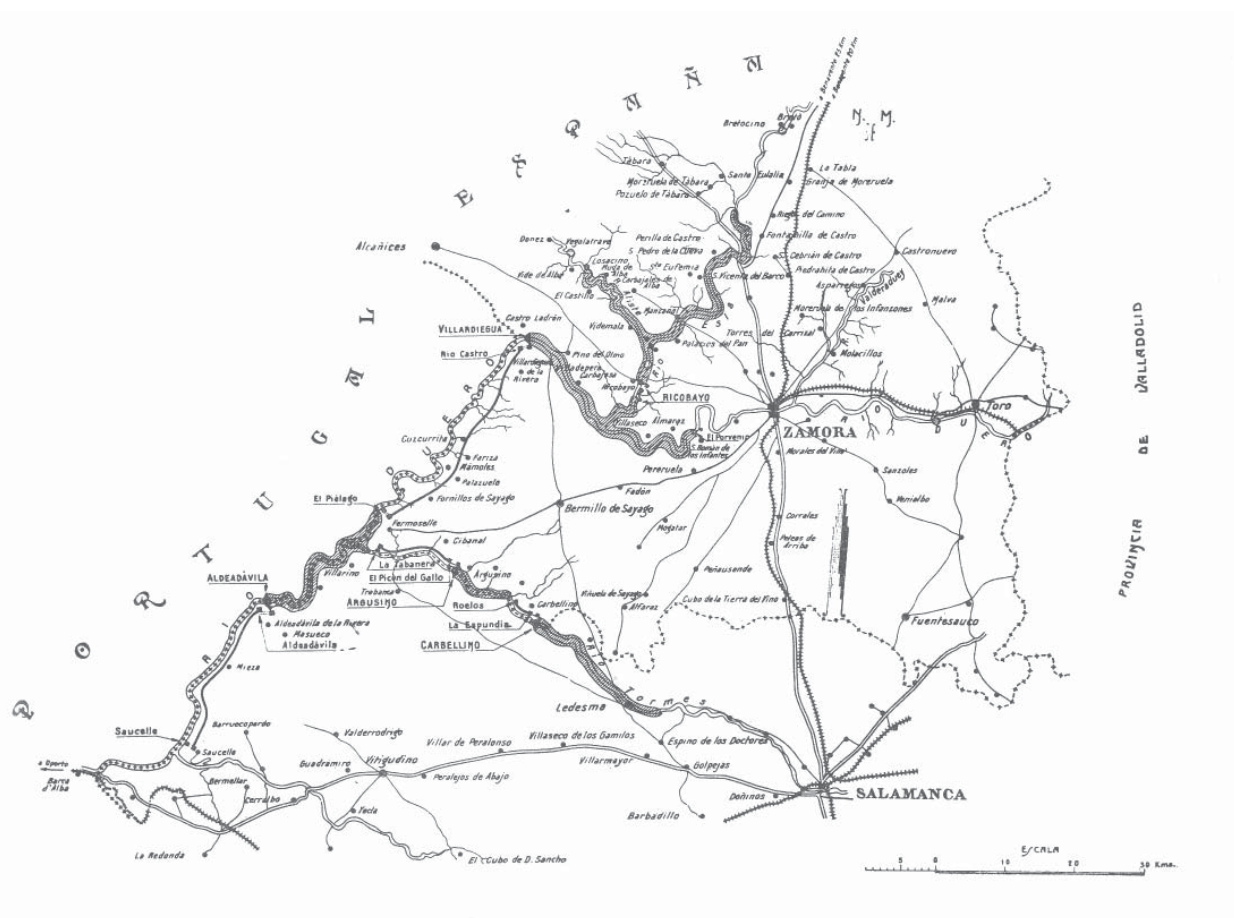
“... por si sirviese para hacer presión decisiva en Portugal, caso necesario, aunque no como solución perfecta.”¹⁰

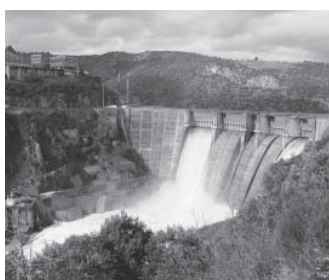
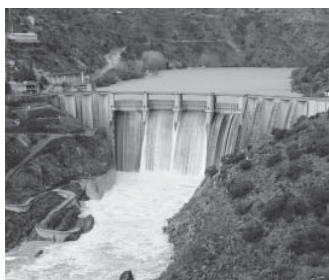
En la Conferencia Mundial de la Energía, celebrada en 1924 en Londres, José Orbegozo presenta una versión más moderada que, aún manteniendo el sistema de trasvase, incorpora una presa en el tramo internacional del Duero, justamente en **Aldeadávila**. Como era de esperar, la difusión de estas propuestas pone en alerta a la opinión pública portuguesa que las percibe como un robo de agua en toda regla. Pero también algunas empresas y entidades financieras españolas, especialmente el Banco de Vizcaya¹¹, están maniobrando en contra. Sienten amenazados sus intereses ante la gestación de un coloso que podría monopolizar por completo el mercado energético, triplicando la potencia instalada en aquel entonces.

9 Todos los proyectos son firmados por ingenieros colaboradores, al formar parte Cantero de una comisión estatal para el estudio del ferrocarril entre Madrid y Algeciras. En 1922 entra en litigio con la compañía Hispano-Portuguesa por desacuerdos en el pago de los honorarios referentes a la redacción de todos estos proyectos. Díaz de Aguilar Cantero, Suárez Caballero, 2007, p. 69

10 Fragmento de la carta al marqués de Palomares de Duero, según la cual Federico Cantero Villamil ofrece sus ideas a la Sociedad-Hispano Portuguesa de Transportes Eléctricos. Díaz de Aguilar Cantero, Suárez Caballero, 2007, p. 68

11 La colaboración de Cantero con la compañía también tiene como objetivo luchar contra los impedimentos que el Banco de Vizcaya pone al proyecto. Díaz de Aguilar Cantero, Suárez Caballero, 2007, p. 68





Presas portuguesas en el tramo internacional del río Duero: Miranda, Picote y Bemposta, con paramentos de contrafuertes, bóveda y arco-gravedad aligerada
Fotografías José Luís

La inestabilidad política española dificulta un compromiso firme del gobierno con los planes de Saltos del Duero. Sólo habrá complicidad cuando Orbegozo encuentre un interlocutor que hable su mismo lenguaje y haga de sus ambiciones una prioridad del país. Éste es el ministro de Fomento de Primo de Rivera, Rafael de Benjumea, también ingeniero, empresario y experto en aprovechamientos hidroeléctricos.

El 23 de agosto de 1926 es adjudicada a Saltos del Duero la concesión definitiva en base al proyecto de 1924, estableciendo un plazo de dos años antes de empezar las obras para que Portugal pueda pronunciarse. Y la reacción es rápida, el 12 de agosto del año siguiente ambos países firman un acuerdo que establece las condiciones del reparto del Duero internacional. El primer tramo de 52km y 195m de desnivel es para Portugal, desde los pies de Villardegua hasta la desembocadura del Tormes. El siguiente, de 54km y 201m de desnivel hasta Saucelle, se otorga a España, y el fragmento restante de 13km y desnivel residual hasta la desembocadura del Águeda queda para Portugal. España contrae la obligación de construir primero las presas de regulación sobre el Esla y el Duero, y como compensación recibe el tramo que recoge las aguas del Tormes.¹²

El término *las Arribes* deriva de ribas, designando lugares a orilla del agua, pero aquí se refiere también a un “lugar con peñascales y monte bajo”¹³. Es un territorio apartado de ciudades importantes y de las principales vías de comunicación, que por razones obvias evitan el infranqueable cauce. A pesar de asentamientos prehistóricos y célticos, los romanos bandearon la zona, que tampoco fue ocupada por los visigodos. Es durante la reconquista en el siglo XI que se establecen nuevos asentamientos con asturianos, gallegos y castellanos, como atestigua la toponimia. El aislamiento geográfico y la poca fertilidad de las tierras, especialmente en el noreste, conducen a un abandono paulatino de estos primeros núcleos y a consiguientes campañas de repoblación.

Para los ingenieros visionarios de principios del siglo XX, la expedición por las Arribes era talmente la descubierta del lejano oeste, explorando el terreno a caballo en búsqueda de la

¹² Bueno Hernández, Saldaña Arce, 2000, p. 2

¹³ Chapa Imaz, 1999, p. 35

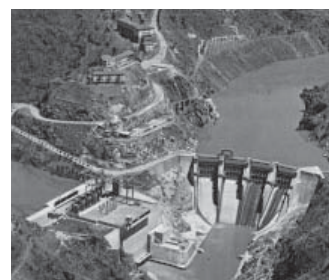
cerrada ideal. A pesar de los medios rudimentarios, son capaces de realizar levantamientos topográficos de buena precisión, que asombran a sus sucesores:

“En más de una ocasión he quedado sorprendido al comprobar que aquellas nivelaciones de los estudios del Duero Internacional, que los actuales hábitos de comodidad hacían suponer poco menos que inventadas, eran lo suficientemente precisas y detalladas para haber exigido un minucioso “pateo” del terreno, tanto más de admirar en los escarpados arribes fronterizos de Zamora y Salamanca.”¹⁴

A raíz de la Guerra de la Restauración, el 1641 los ingenieros militares de la Corona de Castilla son enviados a las Arribes para levantar planos de todas las edificaciones defensivas o susceptibles de ser adecuadas a tal uso. Proponen la recuperación de antiguos castillos, la fortificación de campanarios o edificios civiles y la construcción del Fuerte Nuevo de Torregamones, enfrentado a Miranda do Douro. Posteriormente, para la Guerra de la Independencia se agregará otra capa de fortalezas a lo largo de la frontera hispano-lusa, especialmente entre los ríos Coa y Águeda.

El esquema de las alternancias en la gestión de los tramos del Duero internacional tiene su paralelismo en la determinación de las posiciones defensivas. Las dos responden a la idiosincrasia de las Arribes, como frontera o como enclave de la industria hidroeléctrica. Ambas están intrínsecamente vinculadas a los hechos geográficos del portillo para la presa y del promontorio para la atalaya. La elección de cada ubicación es sumamente estudiada con el objetivo de asegurar el máximo control con el mínimo número de construcciones posibles. Además, ambas infraestructuras responden un planteamiento en red, funcionando cada elemento como engranaje indispensable en un sistema de regulación integral. Primero entran en escena los ingenieros militares al servicio de la Corona y posteriormente el equipo técnico de Saltos del Duero, finalmente respaldado por el gobierno.

Orbegozo y Benjumea comparten una capacidad estratégica de primer orden, forzando primero la reacción de Portugal y



Presas españolas de Villalcampo, Castro y Saucelle, ésta última en tramo internacional, construidas en el cañón del Duero previamente a Aldeadávila

Iberduero (ed.), 1970, pp. 57, 63, 65

14 Martínez Artola, 1962, p. 793



Esquema del repartimiento del tramo internacional del Duero según el tratado hispano-portugués de 1927
Imagen Tres1416

negociando después una propuesta equilibrada en la que ambas partes salgan beneficiadas. Esta es una aptitud inherente a la profesión del ingeniero, que en el caso de los Saltos del Duero queda patente en todos los estadios, desde su gestación hasta la construcción de la última presa, pasando incluso por el incentivo de la demanda eléctrica con el fin de adecuarla a la potencia instalada.¹⁵

Precisamente para perfeccionar esta capacidad y el conocimiento técnico en los ingenieros de la Corona, Jorge Próspero Verboom instituye la Academia de Matemáticas de Barcelona en 1720, como heredera de la escuela de Bruselas. El lema adoptado, “Nunc Minerva, postea Palas”, es decir, “Primero la sabiduría, después la guerra”, ilustra a la perfección el enfoque de esta institución formativa. En ella subyace la idea de que el compendio de conocimiento y planificación es el mejor aliado para ganar la batalla, más allá del ímpetu bélico irreflexivo. Hasta el momento los ingenieros se habían formado básicamente a pie de batalla o de obra, únicamente a partir de la práctica.

La nueva institución formará al reciente cuerpo de ingenieros militares, creado por Felipe V a imagen del *Corps du Génie*, instaurado en Francia por su abuelo Luis XIV. Este cuerpo al servicio de la Corona será determinante en el éxito bélico y en el control y vertebración del estado centralizado. Así, las épocas de paz se aprovechan para la preparación a consciencia en los aspectos defensivos, aunque la polivalencia de los técnicos les permitirá asumir la planificación de todo tipo de infraestructuras como puertos, obras hidráulicas o vías de comunicación. La disparidad de trabajos a realizar dificulta en algunos casos la toma de decisiones oportunas, con lo que el cuerpo empieza un proceso de ramificación. Primero con la separación de los especialistas en artillería, y más adelante consolidado un colectivo centrado en Caminos, Canales y Puentes, emulando también los ingenieros de *Ponts et Chaussées franceses*¹⁶. La escuela fundada en 1802 por Agustín de Betancourt dará la respuesta académica adecuada a las necesidades de esta profesión.

15 Terminada la presa de Ricobayo, Saltos del Duero desarrolla un plan para fomentar la demanda eléctrica. Para ello funda a principios de los cuarenta Nitratos de Castilla (Nicas) y la firma de electrodomésticos Electrificación Doméstica Española (Edesa). Chapa Imaz, 1999, p. 137

16 Muñoz Corbalán, 2015, p. 22



II. Campo de batalla

La firma del convenio con Portugal abre las puertas a la financiación de la primera pieza del sistema. La presa de **Ricobayo**, como vaso regulador de cabecera desde el afluente Esla, se ejecuta entre 1929 y 1934. Pero la Guerra Civil supone una interrupción del programa y conlleva un bloqueo internacional que dificultará el proseguimiento de las obras, a lo que cabe añadir una merma de los recursos económicos de la compañía por las extensas y costosas actuaciones de corrección del aliviadero. Estos condicionantes, sumado a la inexistencia en España de datos y experiencia suficiente para acometer una presa vertedero de 80m de altura

Plano de reconocimiento de todas las plazas fuertes sobre la frontera entre España y Portugal desde el Duero hasta el Tajo en 1641, al comienzo de la guerra de Restauración

Archivo General de Simancas. Cobos Guerra, Campos, 2013, p. 288

con caudales de 150m³/s por metro lineal¹⁷, obligan a replantear la presa de **Villardegua** para la regulación de la cabecera sobre el Duero. Es desdoblada finalmente en los saltos de **Villalcampo** y **Castro**, que entran en servicio en 1949 y 1952 respectivamente.

La *Solución Orbegozo* de 1924 aprovecha el desnivel de 220m del tramo internacional con una presa de 80m con central, situada aguas arriba del cañón granítico de Aldeadávila, y un canal de derivación por la ladera española con un salto de 160m hasta otra central en Saucelle¹⁸. En los años treinta, con las obras del paramento de 95m de **Ricobayo** en marcha, se plantea una opción más optimista, aumentando la altura de **Aldeadávila** hasta los 120m. La siguiente década, habiendo desestimado salvar el tramo internacional con un único dique de 220m, esta quedará finalmente fijada en 140m, reservando otros 83 para **Saucelle**.

El plan de regulación de los saltos del Duero es una buena demostración de las capacidades de los estrategas que se encuentran tras él, un equipo capaz de anticipar una solución que sólo será realizable unas décadas después. La concepción del aprovechamiento integral conlleva una planificación en el tiempo, irremediablemente vinculada a una intuición de la evolución del estado del arte; pero su desarrollo también requiere la capacidad de adaptar rápidamente el planteamiento a los cambios estimados. El retraso en abordar el tramo internacional, mal visto desde la administración¹⁹, es imprescindible para la confluencia temporal del plan dibujado con la evolución técnica, la perspectiva económica necesaria y el consumo eléctrico que lo justifica, lo que sucederá a mediados de los cincuenta. En 1948 habían comenzado los estudios para **Aldeadávila**.

Ya en las primeras excursiones a las Arribes, el ojo crítico de Pedro Martínez Artola lee en el tramo más abrupto del cañón una cerrada excepcional, manifestando que “el aspecto dantesco de la garganta de Aldeadávila invitaba a considerarla como futuro emplazamiento de la presa”²⁰. En este punto un hastial se adentra al cauce, estrechándolo y propiciando una curva en el recorrido del río. Configura un portillo vertical de 300m de

17 Martínez Artola, 1962, p. 795

18 También se plantea la alternativa de resolver esta última parte con un conjunto de presas escalonadas de menor entidad. Bueno Hernández, Saldaña Arce, 2000, p. 9

19 Martínez Artola, 1962, p. 796

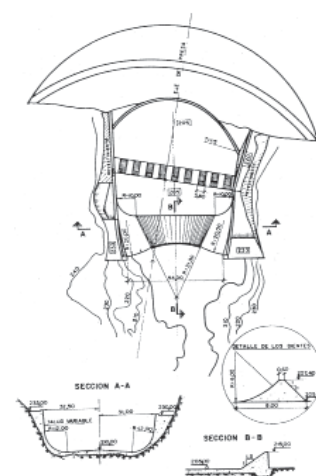
20 Martínez Artola, 1962, p. 796

altura que contrasta con una anchura de lecho inferior a 70m. La forma de la cerrada será el primer condicionante de la presa, pero es necesario un conocimiento profundo de sus condiciones geológicas. De hecho, la situación determinada para **Saucelle** y **Aldeadávila** no se limita a un agotamiento del salto disponible, también coincide con los macizos graníticos que cortan un valle constituido principalmente por gneis.²¹ A pesar de las buenas condiciones generales, una intensa campaña de sondeos y prospecciones evidencia una fracturación importante de la roca y una exfoliación superficial en márgenes y de hasta 15m en el cauce del río. Esto conlleva unos sistemáticos trabajos de lavado e inyección a fin de garantizar la impermeabilidad de la cerrada, junto con la consolidación y el anclaje parcial de las laderas.

Ángel Galíndez, brazo derecho de Pedro Martínez Artola²², termina en 1955 el anteproyecto de una presa bóveda para **Aldeadávila**. Es una solución oportuna atendiendo a la geología y topografía de la cerrada. La ajustada relación entre longitud de coronación y altura permite un comportamiento óptimo de este tipo de estructura, en la que los arcos estribados en las laderas son los elementos esenciales y, en cambio, las ménsulas están poco solicitadas.

No existe a mediados de los cincuenta ninguna bóveda moderna en España, pero si en otros países, para las que se dispone de los sistemas de cálculo y ensayo necesarios. De hecho, será un tipo habitual en las instalaciones hidroeléctricas durante los años sesenta y setenta, estableciendo un vínculo entre la fisiografía del salto aprovechable energéticamente y la forma de cerrarlo.

La potencia prevista para la instalación es de 718.200kw, repartida en seis grupos generadores. Esto da lugar a una sala de máquinas de grandes dimensiones, de difícil encaje en el pie de presa por la estrechez del cauce y por el considerable aumento del nivel del agua durante las crecidas. Una primera opción estudiada la ubica en un punto de apertura del cañón aguas abajo de la presa, lo que implica un aumento considerable de la obra a realizar²³. Finalmente, la mejor alternativa será construirla



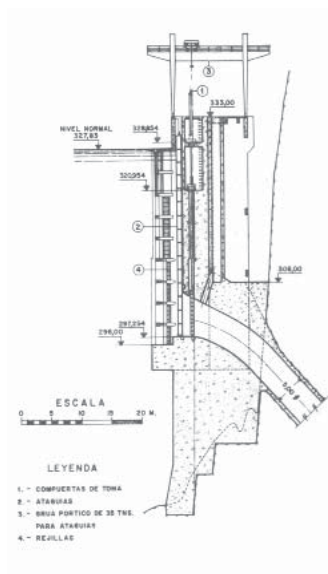
21 Martínez Artola, 1962, p. 799

22 Subdirector y jefe del Departamento de Ingeniería Civil de Iberduero, SA

23 En el caso de disponerla subterránea debe excavarse en las capas superiores, muy fracturadas y si, en cambio, se proyecta a la intemperie permanece expuesta a los

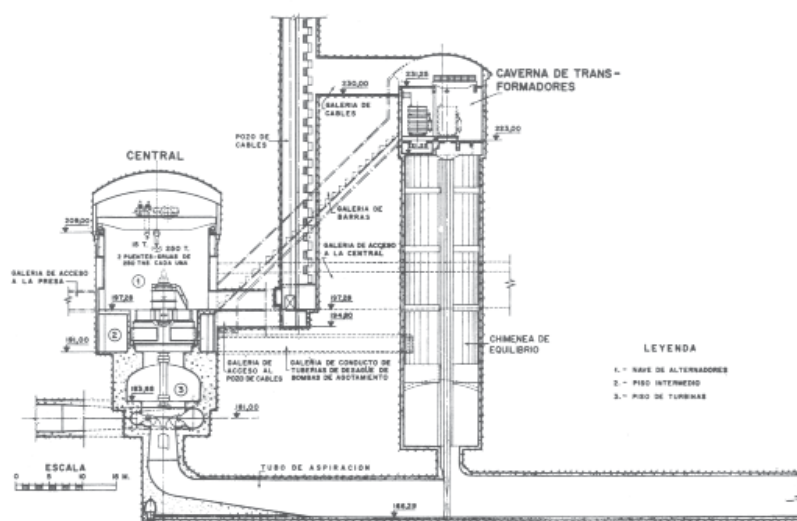
Propuesta de presa bóveda con vertido por coronación y cuenco amortiguador para Aldeadávila

Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 437



Sección del cuerpo de toma de aguas
Martínez Artola, 1963, p. 15

Perfil y planta por distintos
niveles del conjunto formado por
caverna de máquinas, caverna de
transformadores, chimeneas de
equilibrio y pozo de cables
Martínez Artola, 1963, pp. 18, 19

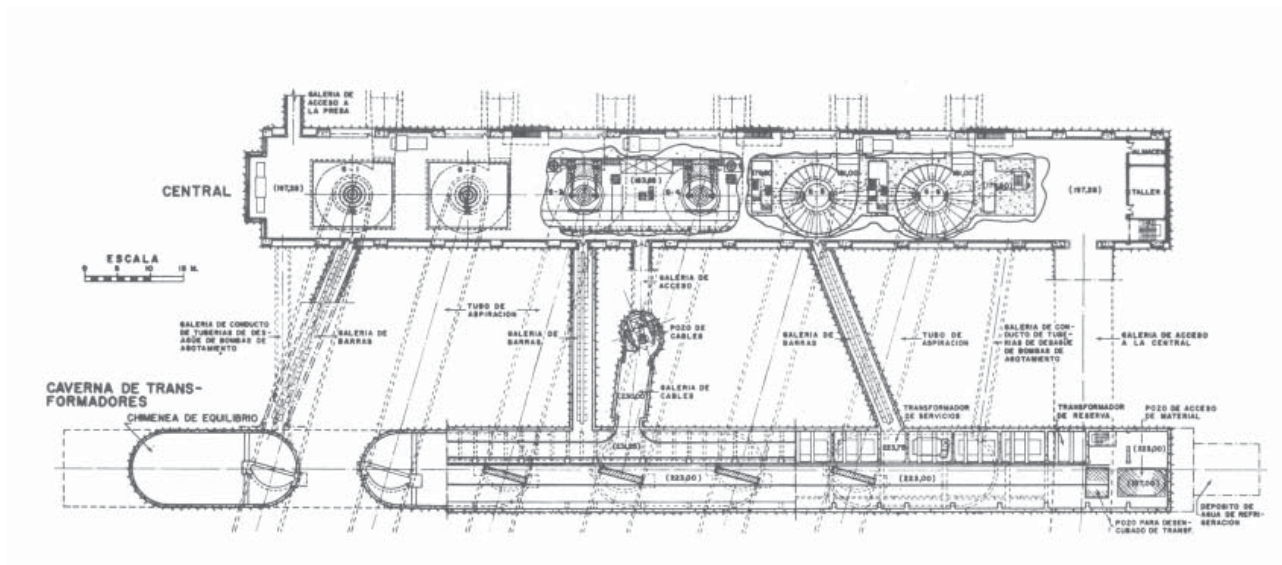


subterránea en la ladera española, bajo el hastial que se adentra al cauce.

El artefacto de toma preside el frente de este flanco, enfrente a la dirección del río aguas arriba. Es una gran construcción formada por un zócalo de hormigón en masa adosado a la ladera y una torre exenta de hormigón armado sobre la cual circula el puente grúa. El conjunto contiene una batería de seis aperturas, cada una equipada con rejilla y compuerta de cierre. Las emboaduras, moldeadas en hormigón en masa, establecen una transición entre las tuberías de 5m de diámetro hacia la turbina y unas bocas rectangulares de 3,90m de ancho por 6,20m de alto. Las dimensiones del artefacto de toma pueden pasar desapercibidas por su posición parcialmente sumergida y la falta de referencia escalar en el entorno, pero no son nada despreciables. El bloque, de 15m de espesor, 133m de largo y 41m de altura, es la punta del iceberg que lo que espera en el interior del macizo.

Las seis tuberías blindadas entre el plano de compuertas y la entrada a la cámara de espiral tienen una longitud de 142,2m y un salto de 119m. Se disponen según un intereje de 17,5m, dejando entre ellas un espesor de roca que garantice la estabilidad durante el proceso de perforación. Esta separación pautará la disposición

posibles desprendimientos de los peñascales. Martínez Artola, 1963, p. 17



tanto de las aperturas como de los generadores y la orientación del hastial izquierdo dictará la dirección del cuerpo de admisión y las cavernas.

Es necesario un minucioso estudio geológico y la posterior apertura de una galería circundante de reconocimiento para cerciorarse que la caverna de la central coincida con el granito de mayor calidad. Este túnel de prospección es también la galería de ataque para la excavación de la central, amortizando la repercusión económica de los estudios previos. Las excelentes condiciones del sustrato permiten esculpir un espacio abovedado sin más obra posterior que un refuerzo del techo con pernos y una capa de gunita. Las salas son talladas con gran perfección geométrica, quedado las paredes señaladas con las medias cañas de los barrenos empleados.²⁴

La definición geométrica de la caverna corresponde a la extrusión de su perfil escalonado, en la que se inserta una estructura inferior abovedada. Como si se tratara de un ajustado estuche, la sección da respuesta a las distintas anchuras requeridas por la nave de alternadores y el nivel intermedio, de 19m de luz entre raíles del puente grúa, el piso de turbinas y la cámara de espiral. En conjunto alcanza una altura de 40m y una longitud de 139m.

24 García Roselló, 1964, p. 400



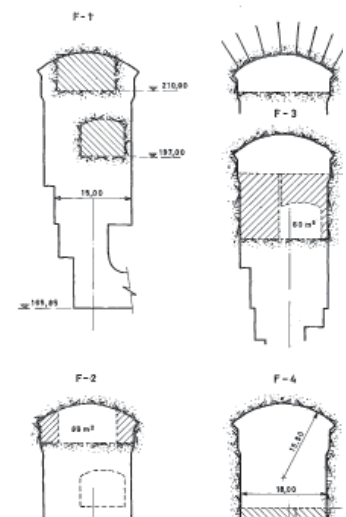
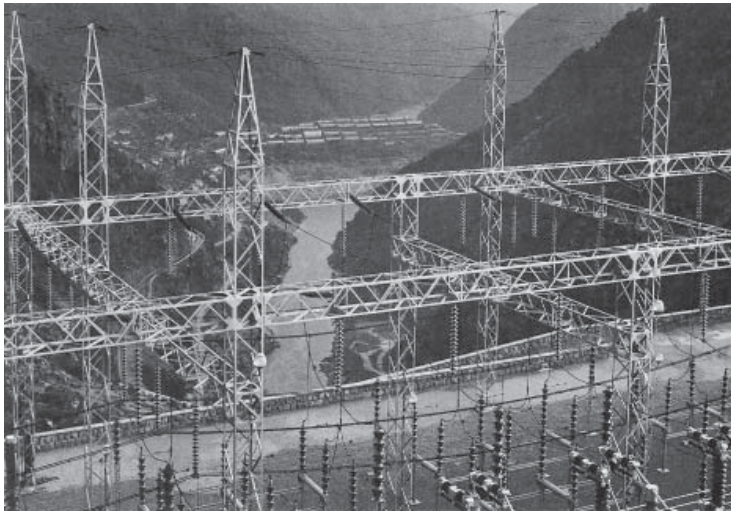
Portalada de acceso a la central, obra del escultor Pablo Serrano y nave de alternadores de la central
Iberduero (ed.), 1970, pp. 88, 89

Es un vaciado de proporciones descomunales, equivalentes al volumen del cuerpo de toma. La luz de la galería es sensiblemente inferior a la nave gótica de la catedral de Girona, considerada de las más anchas del mundo. Pero su longitud equivale a la suma de ésta, el ábside y la gran escalinata que preside. La altura de la caverna es un 20% superior a la nave del templo gerundense, a pesar de que está dividida en tres niveles.

La caverna de transformadores se abre en un nivel superior, a resguardo de las máximas avenidas y desplazada hacia aguas abajo respecto la sala de máquinas. Esta galería de 159m de longitud y 13x13m de sección corona las cuatro chimeneas de equilibrio del sistema de desagüe. Uno de sus extremos queda abierto sobre ladera facilitando la aducción de aire a éstas y la ventilación de las dependencias subterráneas. El puente grúa para el movimiento de los transformadores también sirve para el accionamiento de las ataguías de cierre de los tubos de aspiración, situadas al fondo de las chimeneas. Los ocho conductos de salida de las turbinas se reúnen en dos grandes galerías de desagüe de 510m de longitud y una sección de 12,5 x 11,5m. La desembocadura al río se efectúa bajo el nivel del cauce, con un último tramo en contrapendiente para garantizar el trabajo bajo un mismo régimen de presión, independientemente de las fluctuaciones de caudal.

Para llegar a la sala principal de la central debe recorrerse un túnel de 650m de longitud, utilizado también durante los trabajos de excavación. A los pies de un imponente frente rocoso, un paramento arqueado de hormigón emboca la entrada a las instalaciones subterráneas desde el exterior²⁵. Es aquí donde estaba previsto levantar el parque de salida de líneas, pero el riesgo de desprendimientos aconseja buscar una situación alternativa. Justo encima de la central, el hastial que se adentra al río acaba con una explanada conocida como el Llano de la Bodega. Un trabajo de nivelación permitirá instalar un parque de salida escalonado y también el edificio de cuadros y control, que inicialmente se había previsto en el interior del macizo. Un pozo de cables de 317,5m de altura y 5m de diámetro, equipado con ascensor y escaleras, conecta directamente el edificio de control con las cavernas inferiores. El ahorro en el metraje de cables respecto la primera situación de la salida de líneas permite afrontar el coste

25 *La Gran Bóveda de Aldeadávila* es obra del escultor Pablo Serrano



del trazado de la carretera de 2,5m kilómetros y 100m de desnivel hasta la cima.²⁶

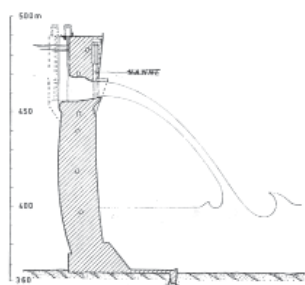
El Llano de la Bodega corona un morro en forma de península de la meseta castellana sobre el cañón del río Duero. A 300m de altura sobre el cauce, tiene un control visual de los tramos aguas arriba y aguas abajo de la presa. El estrechamiento que el hastial induce al cauce acaba siendo concluyente en la elección

Salida de líneas en el Llano de la Bodega, con la vista del poblado de la Verde y el campamento para obreros
Chapa Imaz, 1999, p. 374

Trabajos de excavación de la caverna principal de Aldeadávila una vez empernado y gunitado el techo
García Roselló, 1964, p. 402

Fases de excavación de la caverna principal
García Roselló, 1964, p. 401

26 Martínez Artola, 1963, p. 21



Presa bóveda de Kariba en el río Zembeze, dotada de un peculiar sistema de alivio en carga
Fernández Casado, 1975, p. 629

de la cerrada. El sistema de admisión y aspiración de la central dibuja un curso de agua interior que reestablece la dirección del río, como cortando un pequeño meandro. En respuesta al exiguo espacio, el centro de control aflora en la cima, invitando a leerlo como una metáfora de uno de los requisitos básicos que comparten la ingeniería de presas y la militar: la elección del emplazamiento estratégico.

Pero hay un aspecto de primera magnitud implícito en el lugar escogido, este es el caudal del río, con una avenida máxima no inferior a $12.500\text{m}^3/\text{s}$. Es un caudal tres veces superior al del Nilo en régimen modular, pero el cañón de las Arribes estrecha el paso del enfurecido Duero provocando concentraciones de hasta $300\text{m}^3/\text{s}$ por metro lineal de cauce²⁷ con una oscilación de nivel que supera los 30m. A menor anchura, mas importante es la velocidad del agua y mayor su potencial destructor, un aspecto que transmite a la perfección la fisonomía del enclave.

Pocas presas bóveda dan respuesta a un vertido por coronación de caudales tan relevantes. Representa un hito en este sentido la presa de **Kariba**, terminada en 1959 en el río Zambeze, en la frontera entre Zambia y Zimbabue, obra de André Coyne. Aparte de afrontar con esta tipología una cerrada muy ancha, el proyecto se caracteriza por un sistema de alivio sumergido, a 33 metros de la cota máxima de embalse²⁸. Lo forman seis bocas reguladas por compuertas y equipadas con deflector, con una capacidad de $9.000\text{m}^3/\text{s}$. No obstante, la energía del agua ha sometido el vaso amortiguador a un intenso proceso erosivo que medio siglo después compromete seriamente la estabilidad de la estructura.

Portugal cuenta en aquel momento con una mayor experiencia que España en la construcción de presas bóveda. A finales de los treinta emprende el aprovechamiento hidroeléctrico de sus principales ríos, convocando ingenieros de renombre internacional como Alfred Stucky, William Halcrow y también André Coyne. Las bases de conocimiento aportadas y la instauración en 1946 del Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) para el estudio en modelo darán el espaldarazo definitivo a la ingeniería de presas lusa. Tomará el relevo una generación de ingenieros

27 Chapa Imaz, 1999, p. 39

28 Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 498

portugueses a principios de los cincuenta, siendo **Picote** una de sus primeras realizaciones.²⁹

Esta presa forma parte del aprovechamiento del tramo internacional del Duero adjudicado a Portugal. En una década, de 1954 a 1964, Hidro Eléctrica do Douro construye las presas de **Miranda**, **Picote** y **Bemposta**. A diferencia del criterio seguido por Saltos del Duero, la política energética portuguesa y el retraso en la ejecución del proyecto apremiarán empezar por la cerrada más difícil. La presa de **Picote**, financiada con fondos del *Plan Marshall*, termina en 1958, dos años después del inicio de los trabajos en **Aldeadávila**. Tiene una altura de 100m, una longitud de coronación de 139m, unas condiciones de cimentación similares y debe hacer frente a un caudal de 11.000m³/s.

Picote se plantea como una bóveda de doble curvatura, relativamente gruesa, con 17,5m de espesor en la base. Cuatro compuertas de 20 x 8,60m regulan la salida del agua sobre un gran trampolín en salto de esquí que ocupa todo el ancho disponible. Forman este elemento un conjunto de dos estribos y cinco contrafuertes radiales a la bóveda unidos entre ellos por la cabeza. Presa y aliviadero son dos artefactos acoplados, pero conceptualmente independientes; remiten a las soluciones canónicas del influyente Coyne en las que adosaba una central a la presa cuyo techo era el soporte de los trampolines. El gran caudal del Duero obliga a una extensión del aliviadero, una pieza agigantada que eclipsa por completo el paramento desde aguas abajo. Acentúa la autonomía de ambas estructuras el espacio transversal liberado en el intradós, que parecería indicado para cobijar la central. Esta se construye subterránea en el estribo derecho pero restituye el agua al cauce bajo la estructura de contrafuertes.

En el frente español los requerimientos son aún más extremos. La presa prevista es cuarenta metros más alta y el caudal de máxima avenida también es superior porque se le añaden al Duero las aguas procedentes del río Tormes. Para afrontar con garantías el reto que supone la construcción **Aldeadávila** es prudente consultar la opinión de autoridades en la materia. La incipiente apertura del país hace posible acceder a un tipo de colaboración habitual entre técnicos y compañías europeas. El

29 Proyectada por Carvalho Xerez, Henrique Granger Pinto, Laginha Serafim, Antonio Silveira y el equipo técnico de Hidro Eléctrica do Douro. *Info, Revista informativa da Ordem dos Engenheiros Região Norte*, 2007, núm. 12, p. 14

italiano Carlo Semenza había participado en la construcción de **Ricobayo** y el suizo Arnold Kaech en la reparación de su aliviadero. Martínez Artola reanuda el contacto con estos ingenieros y, tras una primera reunión desafortunada con Semenza, contrata a Kaech.³⁰

La propuesta de bóveda delgada tanteada por Ángel Galíndez, que encajaba con la opinión del “finado Semenza”³¹, era una tipología oportuna por la forma de la cerrada y la buena calidad resistente de la roca. Suponía además un considerable ahorro económico respecto a una presa de gravedad, minimizando el volumen de la construcción. Como sistema de alivio, se estudia una opción en vertido libre por coronación sobre un gran cuenco amortiguador y otra basada en un conjunto de tres aliviaderos en túnel de 10m de diámetro³². A pesar de unas comprobaciones satisfactorias en el laboratorio hidráulico de la compañía, permanecen las dudas sobre los posibles desperfectos de la acción del agua sobre la cerrada y la misma presa en el caso de vertido libre por coronación. Por otro lado, el complejo entramado subterráneo de la central complica el trazado del aliviadero en túnel por el estribo izquierdo.

La entrada en escena de Arnold Kaech acaba confirmando lo que Martínez Artola ya intuía:

“Ángel, usted casi me ha convencido con su proyecto alternativo de presa-bóveda, pero Kaech me dice que no, que hay que levantar una presa de estructura hidráulica, como la que está diseñada. Le preocupa el paso de las inmensas cantidades de agua por el aliviadero.”³³

Así, frente a lo oportuno de la bóveda, prevalece el aspecto hidráulico. La evacuación de las avenidas de 12.500m³/s es el principal problema a resolver, y gran parte de las aguas deben ser vertidas por la presa y acompañadas hasta una altura próxima al cauce.³⁴

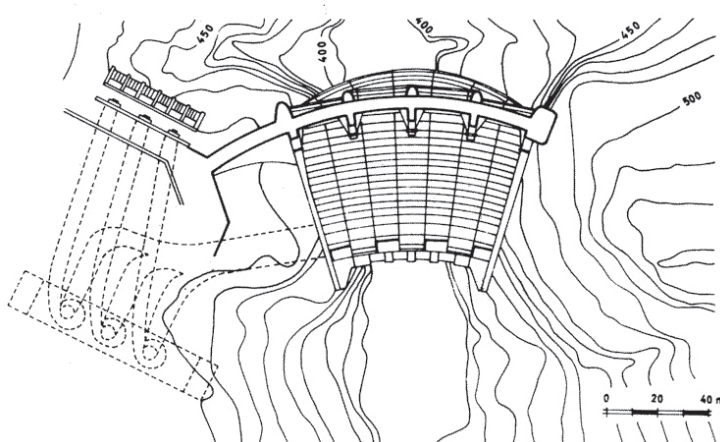
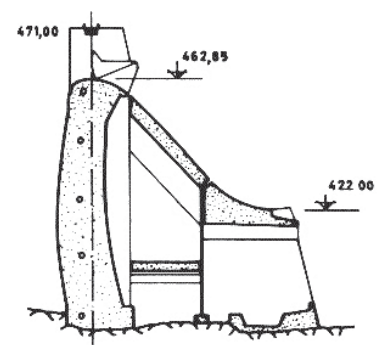
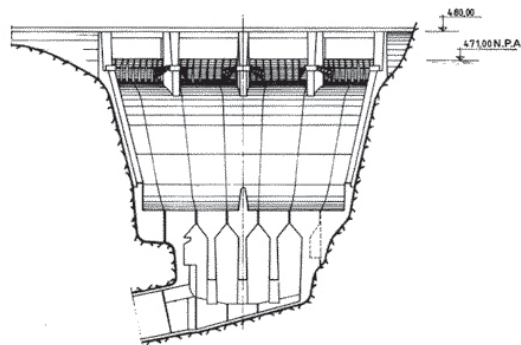
30 Completan el equipo expertos suizos en el campo de la geología y el hormigonado, una empresa sueca especializada en perforación de cavernas subterráneas y el laboratorio portugués de ensayo en modelo reducido capitaneado por Joaquín Laginha Serafim, integrante del equipo de proyecto de Picote. Chapa Imaz, 1999, pp. 332-335

31 Martínez Artola, 1962, p. 800

32 A razón de dos en la ladera portuguesa y uno en la española. Martínez Artola, 1962, p. 801

33 Entrevista de Álvaro Chapa con Ángel Galíndez, 28 de enero de 1991. Chapa Imaz, 1996, vol. 3, pp. 191-218

34 Es una intuición que corroborarían más adelante los desperfectos en el cuenco de Picote, ocasionados por la altura excesiva del salto de agua



La presa de Picote en construcción en 1957, con el sistema de contrafuertes que sustenta el aliviadero y la embocadura del desagüe de las aguas turbinadas bajo esta estructura

Colección FJS Castro

Planta, alzado y perfil de la presa de Picote

Comissão Nacional Portuguesa das Grandes Barragens, CNPGB

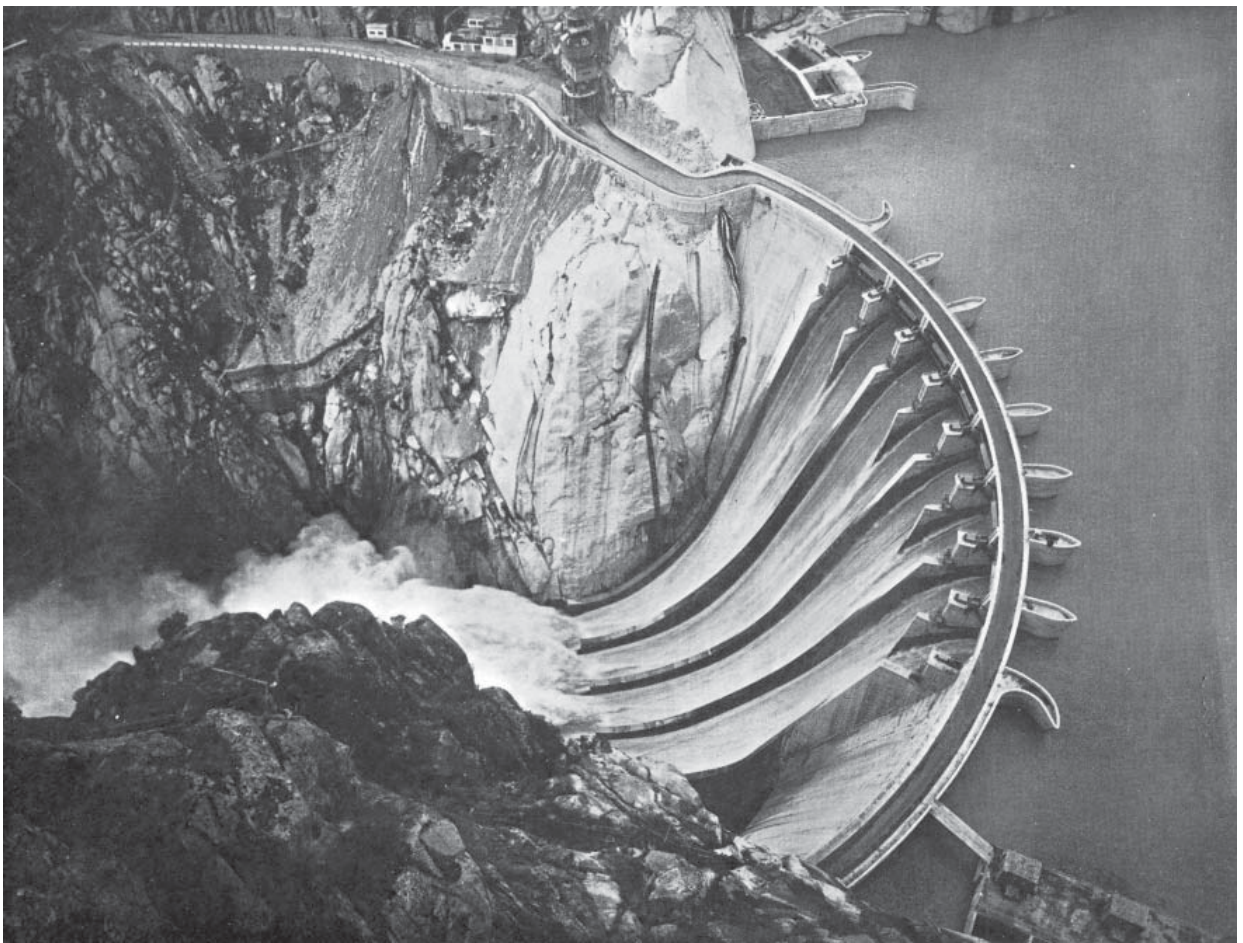
Evacuar de forma prioritaria las avenidas por coronación exige una longitud de vertedero superior al ancho de la cerrada, lo que conduce a una estructura curvada. Es una forma, a priori, compatible con la bóveda delgada. Pero la única manera de conservar esta tipología y resolver al mismo tiempo el acompañamiento de la lámina vertiente es adoptar una solución análoga a **Picote**, basada en la yuxtaposición de dos estructuras. Éste es un planteamiento de cierta complejidad constructiva, que aumenta exponencialmente en relación a la difícil accesibilidad a la cerrada. Evitando tal complicación, se acaba en una sencilla solución de bóveda gruesa, con un volumen de obra superior, pero muy por debajo del requerido en una presa de gravedad.

La cara aguas arriba del paramento define una superficie cilíndrica de radio 120m. Da lugar a una longitud de coronación de 250m, la mitad de la cual destinada a embocamiento, una vez descontados estribos y pilas. Cuatro trampolines de trazado convergente acompañan el agua desde las ocho bocas de 14m hasta el cauce de tan sólo 69m. Ocupan la práctica totalidad del paramento aguas abajo del cuerpo de la presa, a excepción de los tramos de entrega contra las laderas.

Dos tercios de la altura de los canales de alivio discurren directamente sobre el paramento yuso de la presa, determinado por la máxima depresión admisible de la lámina de agua para que siempre quede adherida³⁵. Resulta un talud de 0,45, de mayor inclinación que una presa de gravedad, posible gracias a la movilización del factor de forma del arco. Al tercio inferior de la bóveda, de directriz vertical, se le añade el último tramo del sistema de desguace en forma de trampolín. Aparte de la forma convergente, los canales describen en planta un giro de transición entre el paramento aguas arriba y la dirección del cañón aguas abajo.

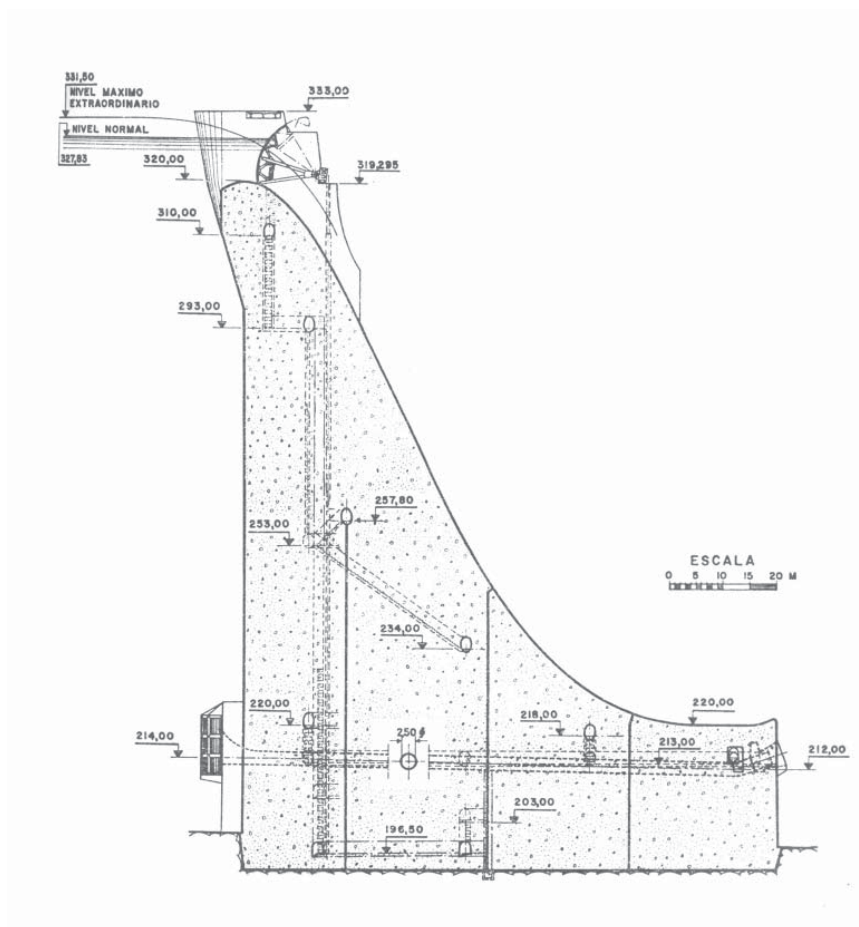
Las ocho compuertas de segmento de 14 x 8,3m admiten un caudal de alivio de 8.200m³/s, que es necesario complementar. El túnel abierto en la ladera portuguesa para el desvío del río durante la construcción de la presa se adapta como aliviadero, con una capacidad de 2.800m³/s. A esto cabe añadirle dos desagües de fondo para otros 300m³/s que desembocan al pie de los dos trampolines a la derecha.

35 Martínez Artola, 1962, p. 801



Aldeadávila resuelve con un único cuerpo los requerimientos estructurales y de evacuación. Su definición geométrica responde a una estudiada simbiosis, buscando el punto de coincidencia entre las formas resistentes y las hidráulicas. El mismo trazado arqueado, derivado de la longitud de boca necesaria, permite el diseño de un perfil de arco-gravedad muy esbelto que se ajusta a la pendiente apropiada para el aliviadero. La simple adición de muretes formando cajeros y unos trampolines en la base completan la estructura, configurando un volumen de 848.000m³. Las virtudes de este diseño quedan reflejadas en los elogios de un ingeniero que seguía atentamente la proyectos de Iberduero, Ángel del Campo:

La presa de Aldeadávila vertiendo,
vista desde el Llano de la Bodega
Fernández Casado, 1975, p. 600



“No existe en ningún otro lugar aliviadero tan perfecto y barato como el de Aldeadávila; en esta cuestión, el laboratorio estuvo a la cabeza del mundo. Una vez acabaron la presa de Almendra, en España no se hizo nada de igual categoría.”³⁶

Perfecto y barato es, sin lugar a dudas, eficaz. Lo eficaz radica en resolver con un único artefacto sencillo y de complejidad constructiva razonable a todos los problemas que se plantean. Responder el gran número de interrogantes que expone la cerrada con una respuesta corta y concisa, pero muy meditada. Es una estructura extremadamente sencilla, que nada tiene de simple. Es además un buen ejemplo que lo eficaz también puede ser bello y conmovedor.

36 Entrevista de Álvaro Chapa con Alejandro del Campo, 17 de marzo de 1994. Chapa Imaz, 1996, vol. 3, pp. 187-193

Planta de las instalaciones, alzado desde aguas abajo y perfil de la solución final para la presa de Aldeadávila

Martínez Artola, 1962, pp. 798, 800 / *Informes de la Construcción*, 1966, núm. 180, p. 41

Definición geométrica de cuerpo-aliviadero

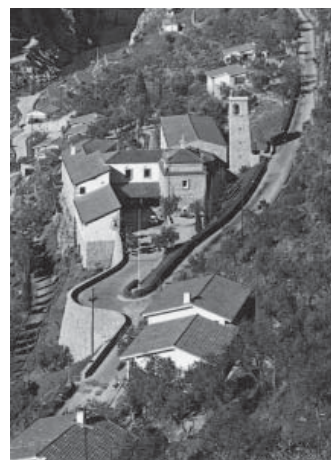
Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 438

La comparación entre **Aldeadávila** y **Picote** evidencia de qué forma condicionantes relativamente semejantes pueden dar lugar a diversos enfoques de proyecto. El desarrollo de la presa española se rige por planteamientos básicamente estratégicos, seguramente una visión agudizada por el entrenamiento del equipo de Iberduero en condiciones precarias durante la construcción de las presas de posguerra, pero también por las extremas dificultades de la cerrada. Un único cuerpo de construcción relativamente sencillo lo resuelve todo, aunando felizmente las formas resistentes con las formas hidráulicas. En **Picote**, en cambio, predomina un planteamiento conceptual basado en la búsqueda de la máxima ligereza y la adopción de la estructura más apropiada para cada uso, aunque esto requiera una mayor complejidad. Quizá influya en este modo de proceder el hecho de que la obra sea una de las primeras realizaciones de un joven equipo de ingenieros portugueses, formados bajo la estela de André Coyne.

Es curioso, en este sentido, observar los paralelismos entre las presas y los respectivos poblados del personal cualificado en La Verde y Picote. El primero se asienta en una ladera sobre el Duero, apiñado alrededor de los restos del antiguo monasterio franciscano de La Verde que se aprovechan como hospedería. Los edificios se resuelven con sistemas constructivos sencillos en base a muros de carga de obra de fábrica revestida y blanqueada, zócalos de mampostería concertada y cubiertas a dos aguas de teja árabe. Predomina un lenguaje similar al núcleo construido para el salto de **Saucelle** y a los conjuntos de casas baratas de los años cincuenta, aquí con tiñes de urbanización de montaña. En el poblado portugués, en cambio, hay una explícita voluntad de levantar una ciudad ideal en una de las zonas más deprimidas del país³⁷. Es un repertorio de refinada arquitectura moderna, como si se tratara de un laboratorio de ensayo. Cada edificio se concibe de manera independiente en función de su uso, representatividad y posición relativa, cuidando hasta el más mínimo detalle. La topografía del emplazamiento permite plantear un núcleo separado del río y más diseminado, en el que cada construcción se inserta en un marco paisajístico cuidadosamente seleccionado.

La solución adoptada en la presa de **Aldeadávila** es un híbrido, demasiado gruesa para ser una cáscara, demasiado delgada para

37 Según proyecto de los arquitectos João Archer de Carvalho, Rogério Ramos y Manuel Nunes



ser de gravedad. Puede describirse como una bóveda gruesa o como una presa de arco-gravedad, a la que se añade un pie de trampolines. La movilización del efecto arco para la mejora de la estabilidad se pone ya en práctica de forma intuitiva en España en las espléndidas presas levantinas de **Almansa**, **Tibi**, **Relleu** o **Elche**, construidas entre los siglos XVI y XVII³⁸. El primer caso moderno es **San Esteban**, terminada en 1955 sobre el río Sil, de la mano de Santiago Corral. Ésta es una obra coetánea a **Salime**, situada además en un emplazamiento de proporciones similares pero con condiciones hidrológicas más extremas. Las generosas avenidas previstas de 4.500m³/s son el motivo principal para adoptar la tipología de arco-gravedad, junto con la verticalidad y buena capacidad resistente de la cerrada³⁹. El cuerpo, de 115m de altura, describe una traza curvada de 120m de radio, el mismo que adoptará la presa del cañón del Duero. El aliviadero también discurre directamente sobre el paramento aguas abajo, ocupando gran parte de su superficie. El caudal importante a evacuar será un factor determinante de la cincuentena de presas de este tipo que existen en España.⁴⁰

En cualquier caso, la forma resultante de **Aldeadávila** no responde a la aplicación directa de un tipo de manual;

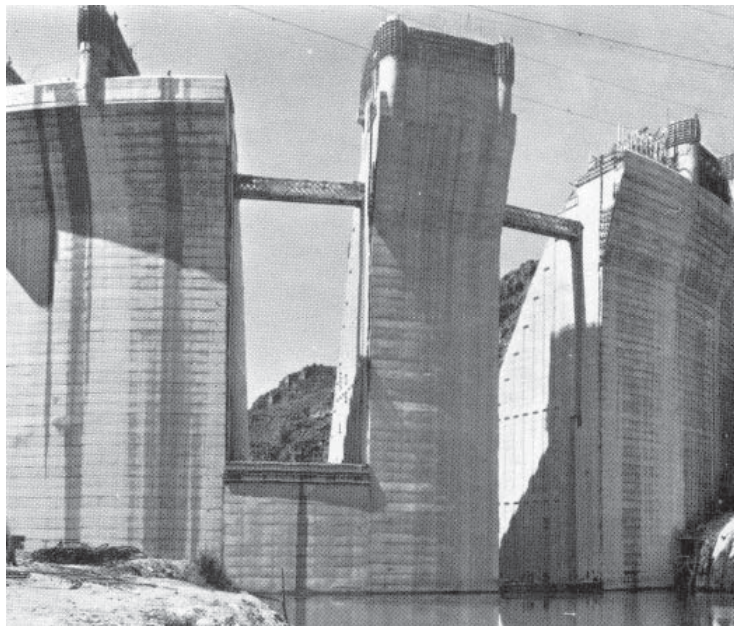
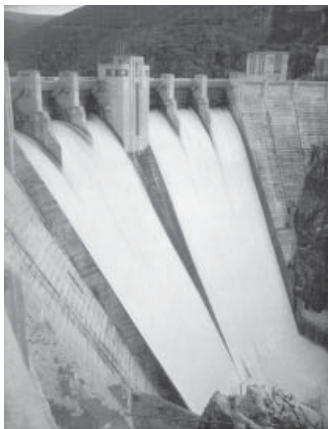
38 Las presas más antiguas en curvar sustancialmente el paramento se construyen en el siglo XIV en el actual Irán. Bueno Hernández, 2008, p. 58

39 Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 763

40 Entre las que destacan Cortes II, El Naranjero y Escalona en el Júcar y el par de estructuras híbridas de Cedillo y Guijo de la Granadilla en la cuenca del Tajo

Pousada para directivos en Picote
Colección FJS Castro

Poblado de La Verde en Aldeadávila, alrededor del antiguo monasterio franciscano convertido en hospedería
Iberduero (ed.), 1970, p. 118



básicamente es explicable como respuesta a una lectura atenta de las condiciones de la cerrada. La presa debe a la experiencia, pero sobretudo al conocimiento del emplazamiento, al acordar una construcción que responda a su compás, que baile según el ritmo que establecen las leyes naturales; en este caso fuertemente condicionadas por el alto caudal a evacuar.

“El ingeniero ha de penetrar en lo más profundo del mecanismo del agua para prever la manera cómo va a comportarse y proyectar las estructuras, anquilosando su movimiento ideal en moldes para su fluir, de modo que cuando el agua llegue encuentre su camino realizado con la forma externa de su propio perfil.”⁴¹

Haber pretendido aplicar una solución abstracta sin atender a los condicionantes intrínsecos del emplazamiento hubiera comportado, como mínimo, una situación forzada, antinatural. Quizá sea lo que suceda con la bóveda de **Picote**, cuya ligereza queda completamente eclipsada por el gran aliviadero. Pero sobretudo es antinatural una solución que requiera

41 Fernández Casado, 1950, p. 189

desorbitadas excavaciones, la construcción de enormes macizos artificiales a fin de adecuar la realidad a un diseño establecido de antemano o la restitución del cauce a través de complicados sistemas de alivio, como en algunos tanteos de **Aldeadávila**.

Esta atenta lectura del emplazamiento da lugar a un caso ejemplar de infraestructura integrada en el paisaje. Es una expresión, aunque gastada por su uso, que recobra aquí todo el sentido, lejos de ser un tema epidérmico. Integrar una presa en el paisaje implica armonizar la construcción con las exigencias geológicas, morfológicas e hidráulicas de la cerrada. De esto depende el buen comportamiento de la estructura. En unas condiciones tan extremas por sus reducidas dimensiones y grandes avenidas, la integración en el paisaje es el único camino para garantizar el éxito. Como sentencia Carlos Fernández Ordóñez, “el acierto de la obra no se contrasta en la gradación mejor-peor, sino en el dilema permanencia o ruina”.⁴²

Es importante adaptar la estructura a los condicionantes, sí, pero leer la cerrada también implica un ejercicio de previsión. Prever el comportamiento de los macizos de cimentación, la estabilidad y deformación de los cimientos, prever como el conjunto construcción-cerrada-río responderán frente a la nueva situación, prever incluso la posibilidad de extensión de una bóveda si el terreno no ofrece finalmente las condiciones adecuadas. La presa cambia las leyes que rigen el emplazamiento conduciendo a una nueva situación. El nuevo régimen debe ser estable, de lo contrario la energía del río actuará en contra de la cerrada o de la misma construcción, iniciando un nuevo proceso de cambio. La buena previsión de los equilibrios que se darán en esta nueva situación es crucial, pues de lo contrario las obras de reparación serán, sino imposibles, titánicas. El quebradero de cabeza y la inversión que requirió corregir el mal comportamiento del aliviadero de **Ricobayo** está presente en cada uno de los proyectos posteriores de Iberduero, en forma de observación y anticipación.

“En el emplazamiento de la presa convergen todos los exponentes fundamentales de la realidad, topografía, geología, forma, altura, río, etc.; por ello pactar con el emplazamiento es el



Paramento de arco-gravedad en construcción, preparado para recibir los trampolines de base
Olaguibel Llovera, 1964, p. 575

Primer bloque con el perfilado de la embocadura del aliviadero
Archivo Iberduero. Chapa Imaz, 1999, p. 370

42 Fernández Casado, 1950, p. 188

secreto del éxito de la nueva construcción que tratamos de definir inicialmente y de realizar a posteriori.⁴³

La integración en el paisaje de la presa es un pacto entre la estructura y las leyes del emplazamiento para un nuevo equilibrio tensional y energético. Toda una metáfora del acuerdo hispano-luso para la regulación del Duero internacional, que sólo prospera ante una solución equilibrada y compensada en la que ambas partes sienten satisfechas sus aspiraciones.

Fruto de este pacto, la presa de **Aldeadávila** transmite la brutalidad que caracteriza el cañón de las Arribes; unos peñascales que llevan impreso el potencial erosivo de ingentes cantidades de agua. Podemos ver un río en estiaje, manso y con poco agua, pero intuimos perfectamente la batalla que ahí se libra. Las formas hidrodinámicas de la presa, presidida casi por completo por el sistema de alivio, rematado aguas arriba en forma de espolones radiales, remiten a lo mismo, a como perturbar lo mínimo el Duero en caso de avenida. Esto es, precisamente, integración en el paisaje. A lo que podríamos añadir un sinfín de otros aspectos derivados, como la correspondencia entre la verticalidad de los peñascales y la verticalidad de la presa acentuada por los muros cajeros; o respecto la elección del emplazamiento, la determinación en cerrar el río justo en el lugar donde el agua ha necesitado más esfuerzo para abrirse paso; hasta incluso la semejanza cromática con la cerrada fruto del empleo de áridos de la excavación en el hormigón⁴⁴ y de la exposición de la estructura durante años bajo los mismos efectos climatológicos.

También es importante la claridad con que se presenta la estructura, con un paramento todo aliviadero. Frente a la artificialidad de otras soluciones, como los estudios preliminares para unos desguaces en túnel, aquí se puede leer perfectamente el recorrido del agua. A ello responden las formas hidrodinámicas de la presa, unas formas que no entran en conflicto ni contraposición con las que garantizan la estabilidad. La curvatura y el talud del paramento atienden a la vez a varias solicitudes. La bóveda y aliviadero están maclados formando una peculiar

El salto encajado en el cañón de las Arribes
Archivo Iberduero. Chapa Imaz, 1999, p. 401

43 Yordi de Carricarte, 1973, p. 591

44 Los 600.000m³ de volumen de granito excavado se utilizan íntegramente para la fabricación de hormigón con el tratamiento con una planta integral a pie de obra. Chapa Imaz, 1999, p. 366





Avenida de enero de 1962 con un caudal de 9.500m³/s sobre la presa en construcción
Iberduero (ed.), 1970, p. 90

El puente de acceso a la planta de hormigón en la ladera portuguesa, reparado por los ingenieros del ejército con un tramo Bailey después de los desperfectos de la riada
Iberduero (ed.), 1970, p. 91

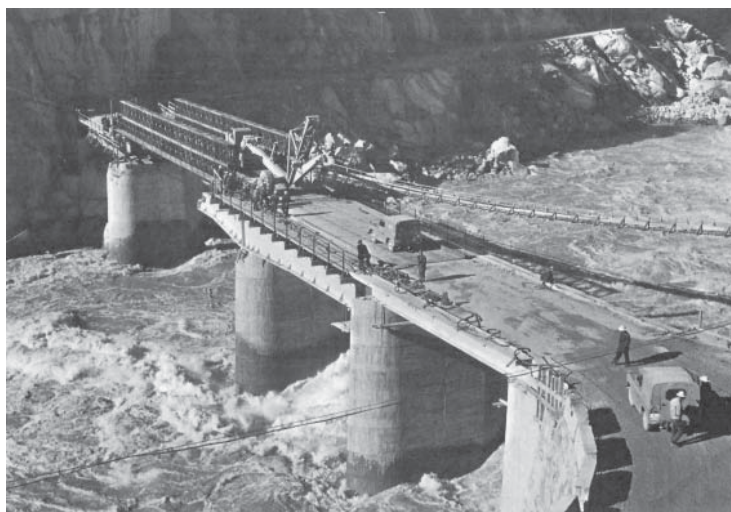


figura que sólo encaja en esta cerrada del cañón de las Arribes. La reflexión en relación a la presa aliviadero de Carlos Fernández Casado, aunque genérica y anterior, es especialmente apropiada para **Aldeadávila**:

“Con la presa aliviadero la perturbación en el mecanismo natural de las aguas es mínima, el escalón resulta intermedio entre rápido y cascada, y se consigue un objetivo teórico importante: no introducir ideas nuevas en el paisaje.”⁴⁵

El trabajo en modelo reducido es un gran aliado para tantear tanto el comportamiento estructural de la presa como los cambios que la estructura induce al emplazamiento. Constituye una prueba piloto que encauza el proceso de diseño y permite afinar las predicciones. Antes de la irrupción de los ordenadores, el trabajo en maqueta era el gran aliado para la anhelada integración. Fue además un buen recurso para allanar el camino en la introducción de nuevas ideas tipológicas o hidrológicas en un mundo eminentemente conservador por razones obvias de seguridad. Es un método de trabajo que ofrece una visión global del problema y facilita la adopción de estrategias claras. Yordi de Carricarte alertaba, ya a principios de los setenta, de los riesgos de reducir la presa a un compendio de operaciones matemáticas:

45 Fernández Casado, 1950, p. 196



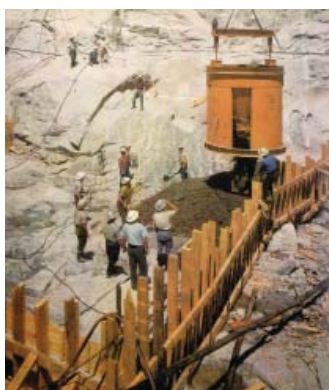
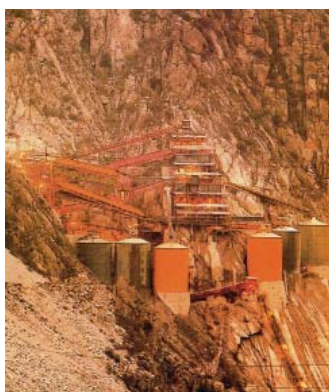
“...cuanto más lejos se va más complejos se hacen los análisis por las dificultades de los métodos y matemáticas empleados, lo cual tiene, a nuestro entender, el peligro de “perder la cara al toro”, o sea, que una excesiva complejidad haga ocultar el problema físico real, planteado por la construcción de la propia presa.”⁴⁶

Precisamente a raíz de los desperfectos en el aliviadero de **Ricobayo**, Saltos de Duero instala un laboratorio hidráulico en Muelas del Pan. Bajo la dirección de Pedro Lucas, será una herramienta esencial para prever el comportamiento de los todos los embalses a construir. El laboratorio es especialmente útil para el proyecto de **Aldeadávila**, que requerirá la preparación de modelos del aliviadero en superficie, el aliviadero en túnel y los desagües de fondo. Para la incidencia de los deflectores se ensayan hasta 800 alternativas⁴⁷, lo que convierte al equipo técnico en experto en la disipación de energía, como reconocía Alejandro del Campo. La corrección sucesiva de las maquetas permite una modificación progresiva de los errores a fin de perfilar las condiciones finales del pacto con el emplazamiento.

46 Yordi de Carricarte, 1973, p. 591

47 Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 437

Estudio en modelo reducido de los disipadores en salto de esquí
Archivo Iberduero. Chapa Imaz, 1999, p. 364



Planta de tratamiento de áridos y fabricación de hormigón sobre la ladera portuguesa, a la cual se accedía a través de un puente sobre el Duero.

Iberduero (ed.), 1987

El primer cazo de hormigón sobre la cerrada de Aldeadávila en 1960

Iberduero (ed.), 1970, p. 78

III. Una puerta al mundo

El cuerpo de la presa de **Aldeadávila** se hormigona entre 1960 y 1962, terminándose la instalación el año siguiente. Los trabajos preparatorios habían comenzado en 1956 y dos años más tarde se trabajaba en la excavación y el tratamiento de los cimientos. En el momento álgido integran la plantilla 3.000 hombres⁴⁸ procedentes principalmente de las localidades de las Arribes. La construcción de los saltos del Duero fue una salida laboral de primera magnitud en una zona que ofrecía escasas posibilidades. Sin embargo, **Aldeadávila** era una obra diferente a las anteriores por lo sobrecogedor del emplazamiento. Fue necesario descolgar las primeras máquinas con cables desde la cima y para la adecuación de las laderas no hubo más remedio que construir un precario entramado de escaleras colgadas. No es de extrañar que muchas personas desistieran formar parte de la plantilla con sólo ver el dantesco escenario que les esperaba⁴⁹. Incluso fue necesario aumentar los sueldos de la plantilla de ingenieros para aminorar las constantes fugas hacia puestos de trabajo más “civilizados”.

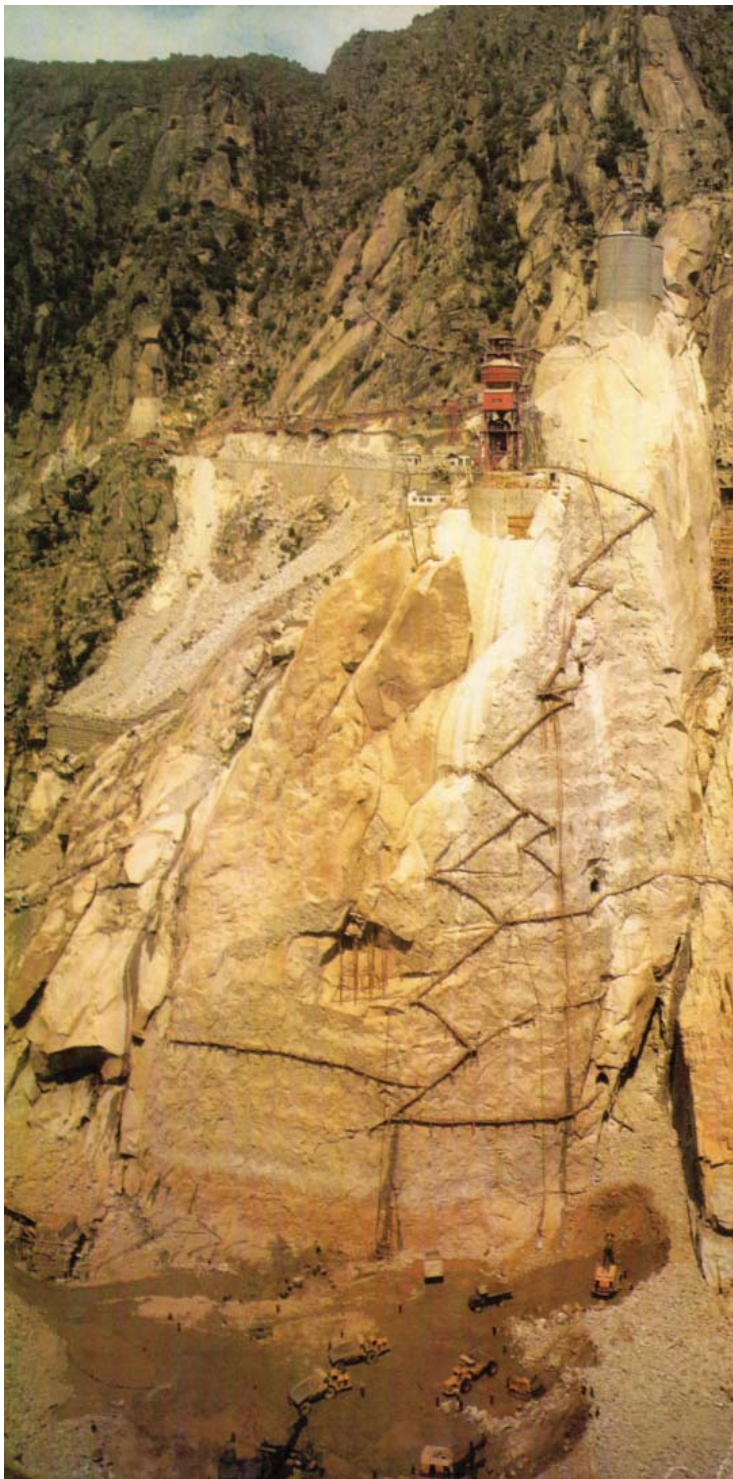
Durante el período de diseño y construcción acaba en España una época de autarquía que da paso al inicio de un proceso de apertura. Iberduero emprende el último salto del Duero, el que más interrogantes plantea, cuando puede disponer de los recursos necesarios y los medios adecuados. Es la primera presa española en la que se trabaja plenamente con una tecnología desarrollada en Estados Unidos en los años treinta a raíz de la construcción de grandes realizaciones como **Hoover** y que será generalizada durante la década siguiente⁵⁰. La nueva maquinaria incide en todas las fases de la obra, desde la fabricación y transporte de áridos y hormigón hasta los sistemas de puesta en obra y tratamiento⁵¹. Así, se utilizan martillos de perforación con carburo, todo tipo de maquinaria de excavación y transporte, dos blondines de gran capacidad, mezcladoras automáticas, sistemas de refrigeración del hormigón, palas para su extensión, baterías de vibradores de alta frecuencia montados sobre bulldozer, etc.

48 Chapa Imaz, 1999, p. 375

49 En la construcción de Aldeadávila fallecen 64 personas en accidente laboral. Chapa Imaz, 1999, p. 343

50 Bueno Hernández, Saldaña Arce, 2000, p. 10

51 Asumen la dirección de obra los ingenieros Luis Olaguibel y José Fora



Primeros trabajos sobre el estribo derecho, en la ladera portuguesa
Iberduero (ed.), 1970, p. 44



Esta infraestructura permite conseguir un redimiendo extraordinario que alcanza los 46.500m³ de hormigón colocados en un mes⁵². Además, la presa es equipada con un pionero sistema de auscultación.

Lo más significativo es que el equipo encabezado por Martínez Artola no se conforma con los medios imprescindibles, sino que se empeña en utilizar los que serán obligatorios en la siguiente obra⁵³. La planificación y construcción de una presa se hace pensando en los retos que presentará la próxima, con margen de maniobra suficiente para observar el comportamiento y tomar las decisiones adecuadas. Para ello recorrerán al asesoramiento necesario y visitarán realizaciones recientes en todo el mundo, como en su momento hicieron para **Ricobayo**. En cierta medida, el papel del anticipador que concibe la explotación conjunta de los saltos del Duero, se reproduce en cada escala de la secuencia.

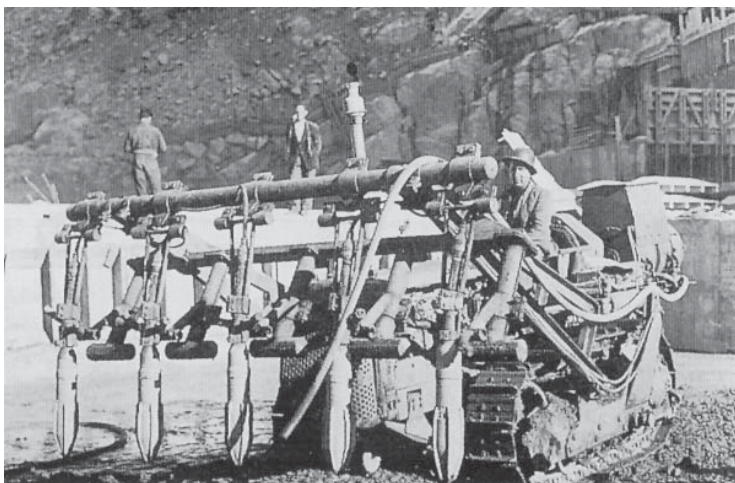
Algunos de los medios empleados en **Aldeadávila** ya se habían ensayado en **Saucelle**, pero hay un salto cualitativo impresionante comparado con la construcción de **Villalcampo** y **Castro**. El bloqueo internacional y la penuria económica comportó la reutilización de la maquinaria empleada en **Ricobayo**, que en su momento era moderna. Sin embargo, esta falta de medios se

Trabajos de instalación de líneas eléctricas en 1948

Archivo Iberdrola. Chapa Imaz, 1999, p. 153

52 Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 183

53 Es un ejemplo de ello, el sistema de refrigeración del hormigón formado por 200 kilómetros de serpentines por los que circula agua a 4° con el objetivo de minimizar las retracciones del fraguado, que en la presa de La Almendra sería imprescindible. Chapa Imaz, 1999, p. 369



compensó con pasión, entrega e ingenio, dando respuesta a los problemas con “soluciones ingenieriles artesanas”⁵⁴. La falta de recursos, acompañada de ambición, agudiza la toma de decisiones estratégicas en aras a sacar el máximo provecho con lo que se tiene a mano. Sin lugar a dudas este fue un buen estímulo formativo para el “cuerpo” de ingenieros de Saltos del Duero, que le permitiría afrontar con gran solvencia mayores retos como **Aldeadávila** o **La Almendra**.

“En el río castellano y sus afluentes se curtieron varias generaciones de técnicos españoles de primera línea cuyas realizaciones no desmerecieron de las llevadas a cabo en otros países más avanzados y supuestamente más instruidos en tales materias. Todos ellos contribuyeron a crear una auténtica escuela de conocimientos hidroeléctricos y experiencia práctica: la escuela del Duero.”⁵⁵

El 17 de octubre de 1964 los Jefes de Estado de España y Portugal inauguran el salto de **Aldedávila**. La potencia instalada de 725Mw, a la que se añadirán otros 425Mw de una segunda central en 1986, la convierten en la infraestructura hidroeléctrica más importante de la Europa occidental. No en vano, la financiación de los 4.000 millones de pesetas que costó la obra, vino de los subministradores de maquinaria eléctrica.⁵⁶

54 Bueno Hernández, Saldaña Arce, 2000, p. 8

55 Pablo Díaz Morlán, Iberdrola (ed), 2009, p. 9

56 A parte de otras instituciones como la FAO. Chapa Imaz, 1999, p. 386

Batería de vibradores montados sobre bulldozer, empleados por primera vez en España

Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 180



Cinco semanas antes, José Torán y Vicente Mortes, subsecretario de Obras Públicas, acompañan a un grupo de expertos del *Bureau of Reclamation* en un viaje de 7.800 kilómetros a lo largo y ancho de la geografía española para visitar las últimas realizaciones en materia de presas.⁵⁷ Es la forma de exhibir los avances de la ingeniería nacional a la mayor agencia de cálculo y planificación de obras hidráulicas del mundo. Torán consigue el reconocimiento internacional que perseguía. A raíz de la visita, el Senado de los Estados Unidos edita la publicación *Water resources developments in Spain*, preparada por el alto comisionado del *Bureau* Floyd Dominy.

Entre los integrantes del viaje también figura el representante europeo de la *Metro-Goldwyn-Mayer*, quién quedará impresionado con lo que percibe en Aldeadávila. En efecto, el año siguiente las cámaras ya están en la presa rodando escenas de *Doctor Zhivago*, dirigida por David Lean y protagonizada por Omar Sharif. La vía de coronación de la presa sobre el agua fluyendo por el aliviadero⁵⁸ figura el acceso a una factoría soviética, mientras que las galerías subterráneas y la central servirán como escenario

Inauguración del salto de Aldeadávila con la presencia de los Jefes de Estado de España y Portugal, el 17 de octubre de 1964
Iberduero (ed.), 1970, p. 35

57 Con un amplio despliegue de medios facilitados por las Fuerzas Aéreas Españolas. Campo y Francés, 1992, pp. 176-180

58 "A Iberduero la broma le costó 200.000 pesetas de las de 1965". Chapa Imaz, 1999, p. 422



del rodaje de la producción española *La Cabina*, de 1972, bajo la dirección de Antonio Mercero y con José Luís López Vázquez como protagonista.

Aunque sea como escenario deslocalizado, el lejano oeste de las Arribes entrará en la pantalla grande de todo el mundo. De hecho una de las condiciones que puso Iberduero, aparte de figurar en los créditos, es que se mostraran imágenes en las que luciese la presa. Es la exhibición de un triunfo, el último eslabón de una serie de decisiones estratégicas encadenadas que se remontan a principios de siglo y terminan reabriendo una puerta al conocimiento y a la economía. Pero la mirada del cineasta nos hace percatar que quizá no son las cifras que hay detrás de **Aldeadávila**, ni la epopeya que supuso llevarla a cabo lo que la erigen como una de las presas más emblemáticas de España, sino su perfecta armonía con el dantesco paisaje de las Arribes, el pacto con la cerrada.

Escena final de *Doctor Zhivago*



Modelar el paisaje

Canelles, Ricobayo

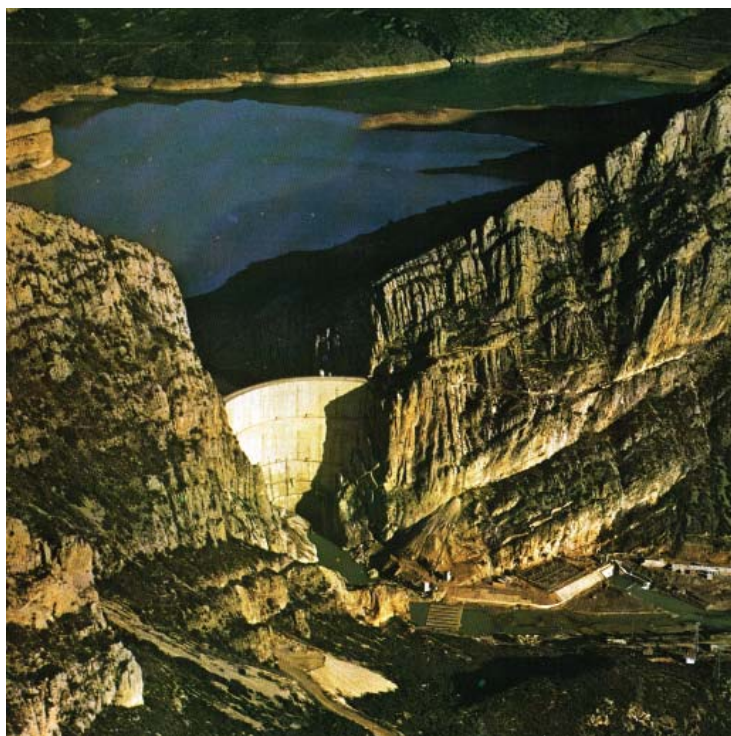
Ambición de resistencia y ligereza, de potencialidad y gracilidad. Que el puente salve el gran vano con la misma sensación que el ágil atleta al saltarlo con soltura, sin apariencia alguna de penoso esfuerzo ni de trabajada técnica. Como si el límite de sus posibilidades estuviera más allá.

*Quince mandamientos estéticos de Eduardo Torroja*¹

El emplazamiento es una materia fundamental en el diseño de una presa, cuya presencia inducirá una nueva situación de equilibrio energético y tensional. El pantano configura un paisaje nuevo a partir de la redistribución y manipulación de los elementos que existen en el lugar. En un marco físico sometido a un lento proceso evolutivo, la presa irrumpe bruscamente. La obra hidráulica es quizá la única construcción humana que juega en la liga de los hitos geográficos. Ante tal responsabilidad, el estudio en modelo reducido facilita un proceso de ensayo y experimentación antes de acometer la obra definitiva.

El paisaje se modifica, y por analogía también las maquetas, a través de una serie de operaciones básicas. Son manipulaciones que remiten al trabajo del artesano, a la pieza única, de fabricación manual y acabado imperfecto. En este sentido, toma especial relevancia la reparación. Cualquier desvío u omisión en las previsiones requerirá complejas obras de reparación. Esta vez directamente sobre el entorno, difuminando el límite entre la obra y el emplazamiento. La presa reparada expresa a la perfección el pacto con la cerrada.

¹ “Quince mandamientos estéticos de Eduardo Torroja -extraídos de sus textos y apuntes de sus clases-”. Fernández Ordóñez, 2009, pp. 89-91



Disolver

El Montsec es un conjunto de sierras prepirenaicas, de más de 40km de longitud, constituidas por materiales calcáreos con alternancia de margarcillosos. Elevados los Pirineos por movimientos tectónicos en el Eoceno, el agua adapta la nueva orografía a fin de buscar una salida hacia el mar; es un activo agente modelador del paisaje que hoy conocemos. El Noguera Ribagorzana se abre paso a través del congosto de Mont-rebei y el Noguera Pallaresa por el de Terradets. Es un proceso de tallado por erosión y disolución buscando el camino más fácil, que no siempre coincide con el más corto; un trabajo lento pero constante, donde el débil altera el fuerte con perseverancia; un trabajo de formas aparentemente caprichosas pero respondiendo a una clara lógica de contingencia.

El resultado de este modelado trasciende la mera transformación física para convertirse en el pilar de la apropiación humana del territorio. La orientación y estructura que el río otorga da lugar a lecturas opuestas; son las dos caras de una misma moneda, unas veces como frontera y otras como espina dorsal.

La presa bóveda de Canelles cerrando el portillo abierto por el Noguera Ribagorzana

Fondo Histórico Endesa

Camino abierto en el macizo de Mont-Rebei antes que la presa inunde el cauce del río

Fondo Histórico Endesa

El pueblo de Tragó de la Noguera anegado por el embalse de Santa Anna, aguas abajo de Canelles

Fondo Histórico Endesa

Formalización de las expropiaciones de los terrenos afectados por la presa de Escales de Enher

Fotografía Llaberia. Sànchez Vilanova, 1991

De oeste a este, el Montsec se apellida Estall, Ares o Rúbies según el corte del par de ríos que lo cruzan, aunque las dos últimas puedan considerarse como una sola unidad morfoestructural. Sobre el eje del Ribagorzana se establece la frontera entre Cataluña y Aragón, sin embargo, las relaciones sociales y económicas de las poblaciones se han articulado tradicionalmente a través de la cuenca, compartiendo el río como vía de comunicación y unidad productiva.

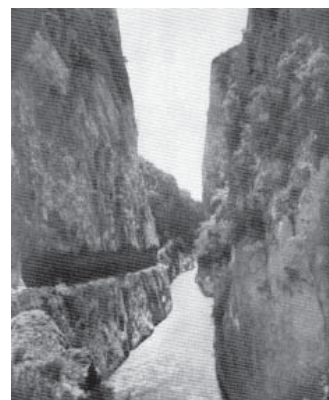
Las características de esta zona son excepcionales para la producción eléctrica: un caudal de agua abundante -aunque irregular- procedente del deshielo de las nieves, un salto óptimo y una sucesión de cerradas morfológicamente perfectas. Si el aprovechamiento hidroeléctrico tiene el río como eje vertebrador, el agua embalsada aleja las laderas y materializa una frontera física. Tras el llenado desaparecen las tierras más fértiles, en zonas bajas junto al río, y quedan truncadas las vías de comunicación entre laderas e incluso los sistemas de transporte fluvial.²

Rellenar

El primer estudio detallado del emplazamiento para la presa de **Canelles** en la Noguera Ribagorzana es el plano topográfico levantado por Riegos y Fuerza del Ebro en los años cuarenta³. Esta empresa del grupo Barcelona Traction Light & Power, conocida como La Canadiense, había desarrollado el aprovechamiento integral del Noguera Pallaresa durante el primer tercio del siglo XX. Al tratarse de una zona de baja densidad de población, escasamente cartografiada, es también un documento excepcional para conocer con detalle el uso del territorio. El contorno del plano viene determinado por la cota máxima de embalse, debajo la cual se encuentran todas las cosas que deberán ser expropiadas; no en vano, el documento se titula *Plano parcelario*. Es el primer mapa detallado de un territorio y también el último, sustituido en la cartografía posterior por una trama uniforme de color azul.

² El oficio de *raier* consistía en el traslado de madera por río desde la explotación forestal hasta el punto de distribución. Los troncos, principalmente de pino negro, se ataban formando plataformas flotantes. El transporte y la explotación forestal formaban parte de una actividad integral, habitual en los ríos Segre y Noguera Pallaresa, con recorridos hasta Lleida o Tortosa. El mismo oficio toma el nombre de *navateros* -*navaders* en catalán- en la Noguera Ribagorzana y el Cinca, *almadieros* en Navarra y *gancheros* en el Turia y el alto Tajo

³ Sancho Reinoso, 2013



Constituye una descripción minuciosa de la forma que el agua rellenará; es el plano de un molde.

A partir de 1946, la explotación del Noguera Ribagorzana será monopolizada por la Empresa Nacional Hidroeléctrica Ribagorzana, que mantendrá el emplazamiento y la cota de coronación prevista para **Canelles**. Dicha estructura colmata, hasta media altura, el portillo vertical tallado por el río al cruzar la sierra de Blancafort. Con 151m sobre cimientos y 210m de longitud de coronación, es en su momento la presa más alta de España y la quinta de Europa.⁴

Por la configuración orográfica, el embalse queda confinado por este último macizo, expandiéndose en sentido normal al eje del río y extendiendo una cola hasta el congosto de Mont-rebei. La presa se sitúa en una zona de transición entre los Pirineos y la llanura, entre dos mundos opuestos por lo que a la orografía, climatología y uso del territorio se refiere. Los 688hm³ a máxima capacidad permiten regular de forma hiperanual el río, alimentando desde el pantano de **Santa Anna** las tierras más secas del llano. El canal de Aragón y Cataluña suministra agua a una superficie de 170.000 hectáreas de regadío y también se abastece a una población de unos 280.000 habitantes. La producción hidroeléctrica, con una potencia instalada de 120MW, quedará supeditada a estos otros usos.

Vaciar

Coinciden en **Canelles** una cerrada bien formada y aparentemente resistente, la previsión de una obra de grandes dimensiones según el plan de aprovechamiento integral y la ambición de promotores y proyectistas. El tipo de bóveda se considerará oportuno para los condicionantes del lugar, pero también para poner a prueba el estado del arte en España, y recuperar el papel mundial del país como referente en ingeniería de presas después de un largo período de autarquía.

“La humanidad construye para algo que no siempre alcanza. Las obras no se construyen para que resistan. Su resistencia es una



Plano parcelario del embalse de Canelles, realizado por Riego y Fuerzas del Ebro, SA

Fondo FECSA (1914-1982), Institut Cartogràfic i Geològic de Catalunya

Perfil del embalse de Canelles a máxima capacidad, el territorio rellenado

Édouard Decam. *L'eau, les barrages, le paysage*, 2006-2008

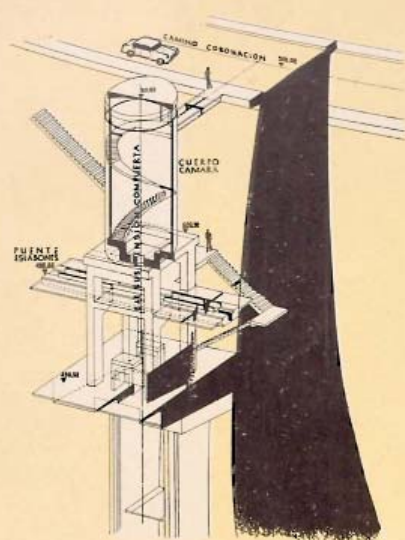
Página siguiente:

Cámara de maniobra de la compuerta de desagüe de fondo en voladizo sobre la cara anterior de la bóveda

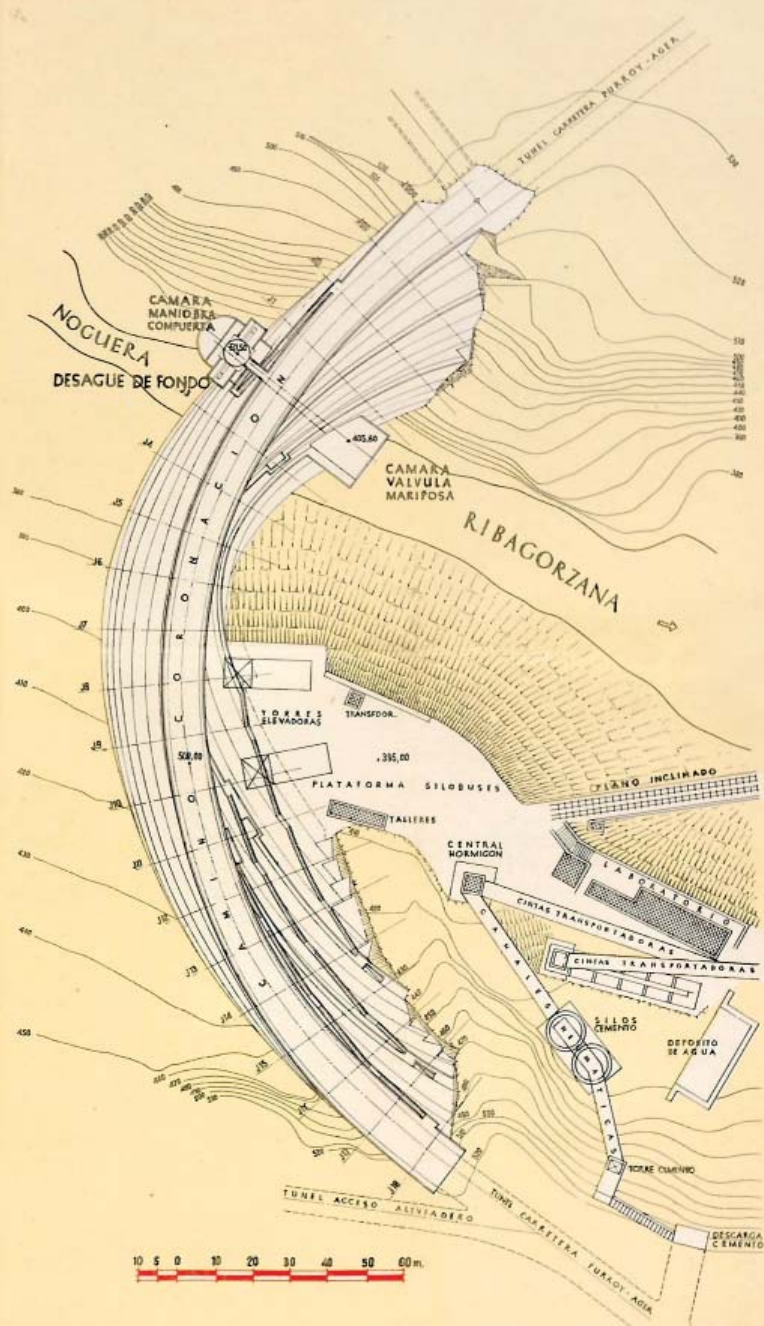
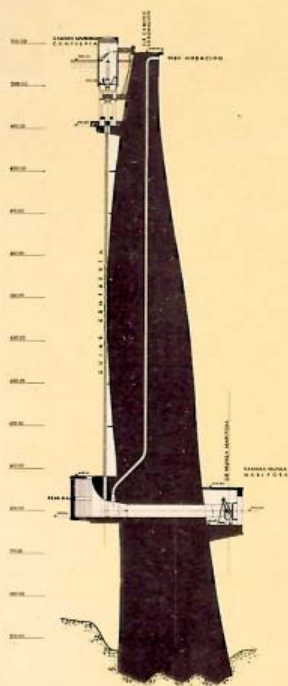
Planta general de la presa de Canelles y las instalaciones auxiliares
Enher (ed.), 1959

4 Superaban Canelles los 226m de Mauvoisin en Suiza, los 178m de Tignes en Francia, los 163m de Ross en el Reino Unido y 152m de Santa Giustina en Italia. Fernández Ortiz, 2002, p. 70

CAMARA MANIOBRA COMPUERTA DESAGÜE DE FONDO



SECCION POR EJE DESAGÜE DE FONDO



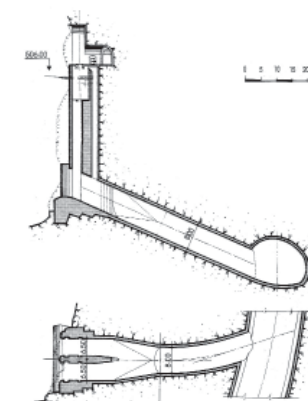
condición fundamental, pero no es la finalidad única, ni siquiera su finalidad primaria.”⁵

Las exiguas dimensiones del emplazamiento complican la disposición de los elementos que forman parte de la instalación. El curioso perfil del paramento aguas abajo, junto al significativo caudal a evacuar, impiden el vertido por coronación. El cuerpo de la presa únicamente se dota de un desagüe de fondo⁶ y la correspondiente cámara de maniobras. Ésta se aloja en una singular estructura suspendida en voladizo de la cara anterior, rematada por un gran cilindro de hormigón.

Sólo permanece a la vista la delicada cáscara presidiendo el cañón; incluso la boca del desagüe de fondo queda escondida detrás del estribo izquierdo. Es una imagen clara, nítida, de la delgada bóveda apoyada entre hastiales calcáreos, como el movimiento ágil del atleta. Sin embargo, bajo las laderas se excava una compleja red de salas y galerías para ubicar accesos, desagües y central eléctrica. Las embocaduras denotan su presencia, especialmente desde aguas abajo, donde se reúnen todos los elementos, organizados cuidadosamente y emergiendo de la roca en forma de galería abovedada.

Preside el pie de la ladera derecha el aliviadero de superficie, trazado por el interior del estribo, con una capacidad de 2.000m³/s. Frente la salida del túnel se despliega un último tramo de desguace en rampa. Le sigue un cuenco amortiguador sumergido, acabado en dentado deflector. El carácter de la boca y el canal expresan a la perfección su función, atendiendo a las formas hidrodinámicas de resonancias antropomórficas⁷. En el cabo opuesto, tres compuertas tipo Taintor regulan la entrada de la embocadura a la galería, cuyo trazado curvilíneo encara la salida según el eje del cauce aguas abajo.

A la mitad del recorrido, se le incorpora un aliviadero de medio fondo construido a posteriori con una capacidad de 800m³/s. El par de bocas, el sistema de guiado de las dos compuertas tipo vagón y el acceso de registro se incorporan en una estructura de



La bóveda poco después de su terminación
Fondo Histórico Endesa

Embocadura del aliviadero desde aguas arriba

Fotografía Eugenio Vallarino. Vallarino Cánovas del Castillo, 1989, p. 45

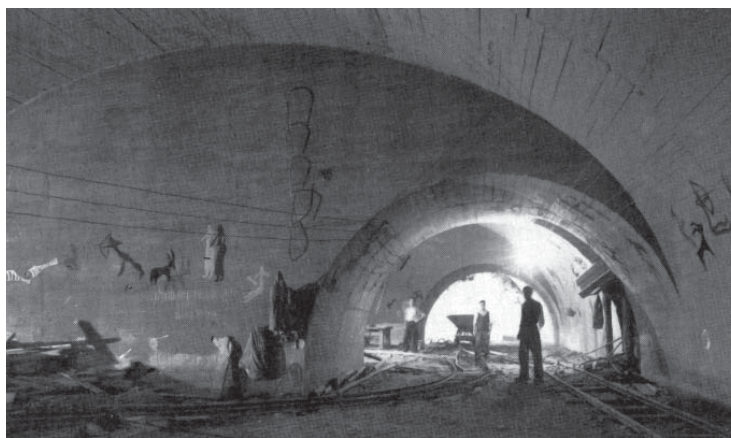
Planta y sección del desagüe de medio fondo

Enher (ed.), 1991

5 “Quince mandamientos estéticos de Eduardo Torroja -extraídos de sus textos y apuntes de sus clases-”. Fernández Ordóñez, 2009, pp. 89-91

6 Su función es mantener un caudal mínimo para el riego cuando el nivel del embalse sea inferior al requerido para el funcionamiento de las turbinas

7 El aliviadero permite el vertido de un caudal específico récord de 55m³/sm. Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 816



hormigón encajada en la ladera calcárea. Su estructura, organizada en dos columnas y tres niveles, recuerda al fragmento de un retablo. Pero la disposición de su cara exterior, coplanar respecto la ladera y con huecos hacia el interior, puede hacernos pensar en un edificio excavado como los templos de Petra en Jordania.

En la base del estribo izquierdo, un zócalo ahuecado hace pareja con la salida del aliviadero. Tres grandes aperturas abovedadas comunican con los nichos de los transformadores y un cuarto paso, de menores dimensiones pero singularizado sobre un paramento cóncavo, configura la entrada a la sala de máquinas. Las tres excitatrices⁸ se alinean en la caverna principal, presidida por la sala de mando en el fondo.

Una galería transversal vincula los cuatro huecos exteriores con las naves interiores. El espacio está caracterizado por la alternancia de bóvedas de distinta luz, tangentes aguas arriba; un pautado diafragmático reforzado por la iluminación natural procedente de los nichos de los transformadores⁹. Las paredes de estas galerías están decoradas por un conjunto de enigmáticas figuras de personas y animales, de cazadores y presas. Son una reproducción de las pinturas rupestres de la cueva Tortuga, taponada durante la obra para la mejora de la impermeabilización.¹⁰

Galería transversal durante los trabajos de construcción, con la reproducción de pinturas de la cueva Tortuga
Fondo Histórico Endesa

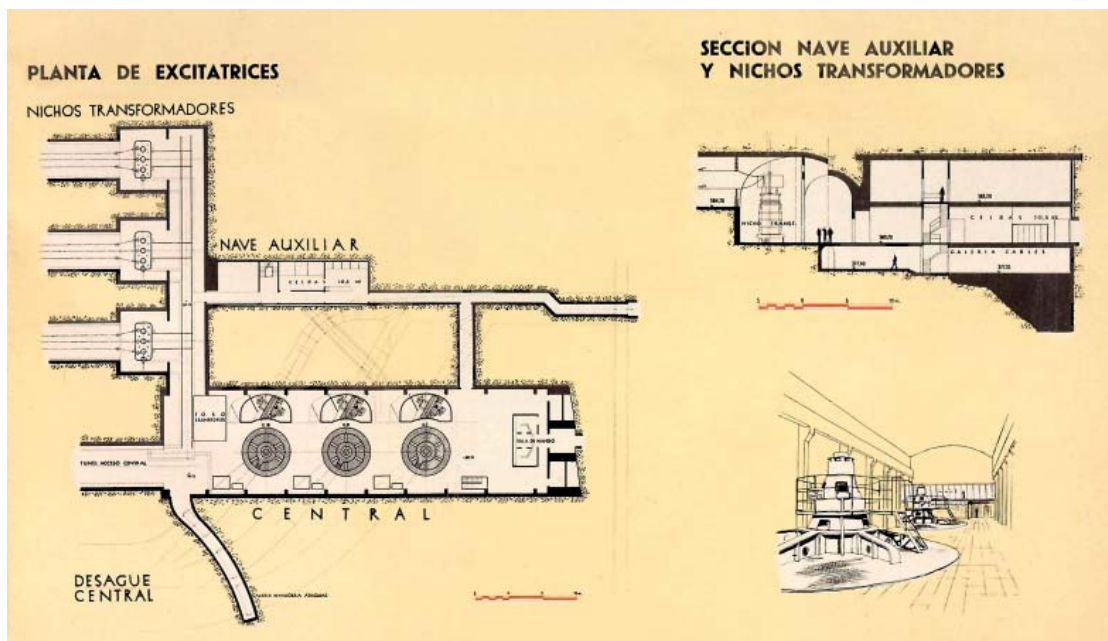
Vista del paramento con las bocas de las galerías del aliviadero y la central eléctrica
Enher (ed.), 1991

Planta y perspectiva de la central eléctrica y sección por nave auxiliar, galería transversal y nichos transformadores
Enher (ed.), 1959

8 La central está equipada con tres turbinas tipo Francis de eje vertical

9 Actualmente esta visión no es posible por la presencia de cerramientos opacos con portales que protegen el interior de la central de la onda expansiva en caso de explosión de alguno de los transformadores

10 Las figuras han pasado desapercibidas durante décadas, hasta que durante una visita guiada un anciano afirmó ser el autor. Él había ejercido de maestro durante la república y era un gran aficionado al arte rupestre. Como represaliado de guerra fue condenado a trabajar en Canelles donde descubrió por sorpresa el arte mural que cubría



El desagüe de la central devuelve el agua turbinada al río a través de un sifón, frente la plataforma exterior. Tiene un papel discreto en el conjunto, atendiendo a que es la boca con salida a menor cota. Pero en el portillo tampoco hay rastro de caminos, sólo se percibe la bóveda y los hatiales. El acceso a la coronación se realiza en túnel desde ambos extremos, del mismo modo que se trazan la vías hasta el aliviadero y cotas intermedias.

Moldurar

Liberado el cuerpo de la presa del aliviadero, se abren nuevas posibilidades en su configuración. Aparte de colocar la caseta de mando volada sobre el paramento aguas arriba, esto permite registrar el paramento desde el exterior, en lugar de hacerlo por galerías interiores. A los tres niveles de pasarelas, cabe sumar los tramos de escaleras entre cada uno, descendiendo desde el estribo izquierdo hasta el tercio central de la bóveda. Un paso intermedio, entre el primer y segundo balcón, conduce a dos casetas de auscultación también adosadas al paramento. Son resueltas a partir de un doble cilindro de directriz vertical maclado a la bóveda curvada.

Las galerías exteriores se repiten en la presa bóveda de **Santa Eulalia** con aliviadero lateral pero también en presas con aliviadero por coronación como **La Tosca**, **Eume** o **Lanuzá**, en las que quedan protegidas de la lámina de agua por el vuelo de la cáscara. Las pasarelas de **Canelles** son formadas por losas de hormigón sobre ménsulas, aunque armadas, hechas del mismo material que la presa. Esto las vincula al cuerpo y les otorga mayor presencia que en **Eume**, por ejemplo, donde se trata de estructuras de entramado metálico.

La orientación sur-oeste de la bóveda, permite que las pasarelas arrojen sombras sobre el paramento, ensalzando su presencia y caracterizando fuertemente el paramento de esta presa a través de un curioso moldurado de bandas horizontales y diagonales.

Pasarelas y garita de auscultación en el paramento de aguas abajo
Fotografía Pepe Conesa

las paredes de la cueva Tortuga. En vistas a su desaparición, decidí anotarlas en un bloque y reproducirlas posteriormente por su cuenta sobre las bóvedas de la galería transversal. Los dibujos inadvertidos hasta el momento, han suscitado ahora el interés de especialitas, permitiendo redefinir el área de influencia del arte rupestre levantino. Informe *El Salt de Canelles*, editado por el Centre de l'Interpretació de l'Energia i Geologia



Conformar

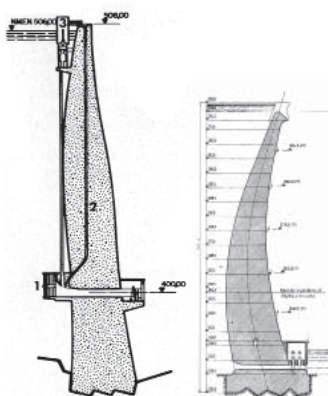
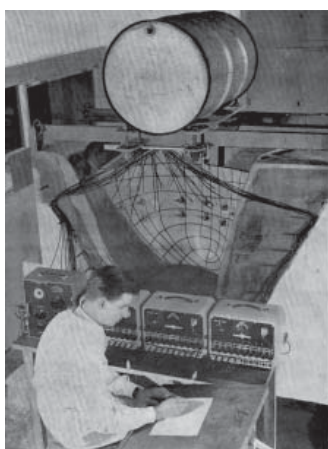
La mayor parte de las presas de hormigón son el resultado de un moldeado. Pero en las bóvedas, como **Canelles**, la forma proviene del llenado de un molde delicado, exquisito. Ningún paramento es plano, ambas caras responden a una doble curvatura. Los encofradores aquí, y quizás también en algunas presas de contrafuertes, desarrollan un trabajo de gran complejidad, donde la maquinaria se limita a medio auxiliar y la mano de obra es imprescindible. La mano toma todo su sentido, es un trabajo de artesanos.

Eduardo Torroja, autor del proyecto junto con Carlos Benito, pone especial énfasis en el proceso de diseño; por así decirlo, en el buen entrenamiento indispensable para el éxito del atleta.

“Aunque su aspecto no es demasiado original, es muy interesante el detallado estudio preliminar del que fue objeto.”¹¹

Este estudio se basa en la elaboración de un conjunto de veinte modelos a escala reducida, en cada uno de los cuales se introducen las modificaciones derivadas del análisis del anterior. La primera serie tiene como objetivo definir una forma resistente a la combinación del peso propio y las cargas hidrostáticas y para ello se utiliza el *litargel*. Es un material fácilmente moldeable, de baja resistencia a tracción y una resistencia a compresión equivalente a 50Kg/m² en la presa real.

11 Torroja Miret, 1999, p. 111



Modelo de la segunda serie para la determinación de las isostáticas
Informes de la construcción, 1962, núm. 157

Perfil de las bóvedas de Canelles y Eume por la ménsula de desagües de fondo

Informes de la construcción, 1962, núm. 157 / Yordi de Carricarte, 1956, p. 17

La siguiente serie de modelos se realiza con materiales de diferente módulo de elasticidad para presa y terreno, más habituales en este tipo de análisis. Permiten el registro de la dirección de las isostáticas, obteniendo los valores tensionales en ambos paramentos. El proceso finaliza en el momento que se consigue una bóveda con compresiones máximas de 60kg/cm^2 y tracciones casi nulas en el paramento aguas arriba.

El último de los modelos se somete a cálculos por el sistema *Trial load* a modo de comprobación. El resultado es una estructura de curvatura variable en planta y sección, cuyos arcos horizontales pierden curvatura hacia la base. Si bien el perfil resultante en los riñones es “de manual”, no se puede decir lo mismo de las ménsulas centrales. La base, prácticamente vertical, acordada con el tramo superior arqueado, da lugar a una curiosa sección panzuda, que recuerda a una botella de Coca-Cola.

“Por primera vez en la historia de la arquitectura, el hormigón armado se hace en las manos del arquitecto casi maleable y plástico, como la porcelana en las del artista cerámico.”¹²

Así se refería Torroja a las calidades que las cáscaras de hormigón armado ofrecían al proyectista. Pero esta reflexión toma especial relevancia conociendo el proceso de diseño. En **Canelles** no se trata de una metáfora sino de una descripción.

El proceso de diseño en modelo reducido que Eduardo Torroja lleva al extremo, es como su nombre indica, fruto del modelado. El camino desde la primera intuición hasta la forma definitiva se basa en la confección y corrección de sucesivas maquetas. Como la misma construcción de la presa, es una tarea que requiere un personal cualificado; es un producto único, no serialable y realizado con máximo esmero.

Crear

A finales de los cincuenta, **Canelles** y **Eume** representan el despertar de la tecnología de presas bóveda en España y el punto de inicio de su época de esplendor. El país lleva un par de décadas retraso respecto la evolución continuada del tipo en países

¹² Arredondo Verdú [et al.], 1977, p. 62

Europeos como Francia, Italia, Portugal, Suiza o Austria.¹³

Las primeras bóvedas delgadas españolas son **Montejaque** y **Alloz**, terminadas en 1924 y 1930 respectivamente. El ingeniero suizo Heinrich Eduard Gröninger interviene en ambas presas, pero en la segunda se suceden distintos proyectistas entre los que destacan Alfonso Peña Boeuf, desarrollando una variante de *presas de anillos independientes*, Enrique Becerril o Francisco Caballero Ibáñez. Estas dos realizaciones son la punta del iceberg de un intenso trabajo de estudio en estructuras ligeras, más eficientes. A pesar de ello, les seguirá un largo período perdido para este tipo. En los cuarenta y cincuenta el tipo de gravedad es hegemónico y sólo se construyen cuatro presas bóveda, siendo la de mayor importancia **La Cohilla**, de 116m sobre el río Nansa, obra de Santiago Corral.

Una mayor disponibilidad de medios y una mano de obra suficientemente experimentada allanan el camino para el comienzo de una nueva etapa en la construcción de presas bóveda, a finales de los cincuenta¹⁴. Sin embargo, el proceso de cálculo de estas estructuras constituye un aspecto complicado. El *Bureau of Reclamation* de los Estados Unidos desarrolla a finales de los veinte el sistema *Trial Load*, basado en una división del cuerpo en arcos y ménsulas y el estudio de las tensiones y deformaciones por ajustes radial, tangencial y de torsión. Sólo una corporación con gran número de proyectos en cartera se puede permitir mantener unos servicios técnicos para calcular estructuras de este tipo. El resto se debe conformar con sistemas de análisis aproximado y ensayos en modelo.¹⁵

Frente a esta situación, los primeros proyectos darán lugar a distintos planteamientos en función de las inquietudes e intereses del autor. Es ilustrativa la divergencia del proceso de diseño seguido por Luciano Yordi de Carricarte para **Eume** y Eduardo Torroja para **Canelles**, como señalan Joaquín Díez-Cascón y Francisco Bueno. El primero partirá del estudio detallado de ejemplos extranjeros, con una intuición clara de la forma que se quería conseguir y la voluntad explícita de optimizar el uso de hormigón. Estas ideas se conformarán combinando los cálculos con algún análisis en modelo puntual realizado en el laboratorio que preside Torroja. Éste, como se ha visto, trabajará estrictamente en base

13 Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 722

14 Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 722

15 Fernández Casado, 1975, pp. 590-591



a modelos, limitando el cálculo numérico a mera comprobación final.

Cada proceso de diseño da lugar a un perfil diferenciado. Favorecida por una cerrada más simétrica, **Eume** tendrá una planta y un perfil claros, icónicos. Seguramente es una forma presente en la mente del proyectista desde el primer momento, suficientemente fuerte para guiar el proceso, suficientemente maleable para adaptarse a la evolución de los cálculos y las condiciones de encaje en el emplazamiento. En **Canelles**, en cambio, la primera idea no responde a una intuición de la forma de la presa a construir, sino al punto de comienzo del análisis. A partir de aquí el sistema de modelados sucesivos cobra autonomía sobre cualquier voluntad formal del proyectista. Es un sistema abierto, del que resulta una cáscara de extraño perfil panzudo, seguramente inimaginable a priori. Cada proyectista fija pues el interés en un aspecto diferente; en **Eume** el centro de atención es la tipología, en **Canelles** el protagonista es el proceso de diseño.

En la figura de Eduardo Torroja coinciden los papeles de proyectista, director del Laboratorio Central de Ensayo de Materiales de Construcción¹⁶, director del Instituto Técnico de

Cimbras para la construcción de las bóvedas de ladrillo de la iglesia de Pont de Suert en 1953
Fotografía Hortolà. Sánchez Vilanova, 1991

16 Institución vinculada a la Escuela de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, pasando a formar parte del Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas en 1957

la Construcción y del Cemento¹⁷ y presidente de Enher. Ante estas condiciones, no es de extrañar el empeño en que el proceso de diseño trascienda la obra resultante. Será el proyecto de una presa, pero también la ideación de un sistema de análisis. Forzándolo hasta las últimas consecuencias, pondrá las bases de la Sección de Análisis Experimental de Presas del laboratorio que dirige, en el cual se estudiarán algunas relevantes estructuras de compañías privadas y la mayoría de realizaciones estatales.¹⁸

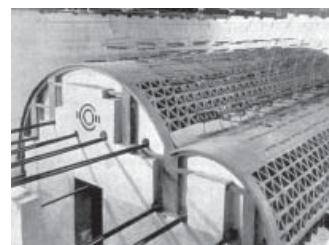
De hecho, esta metodología se puede entender como una variante de los análisis en modelo tridimensional que Torroja venía desarrollando para el diseño y cálculo de estructuras laminares en hormigón armado. A la bóveda del Frontón Recoletos, les seguirían el Club Táchira en Caracas o las cubiertas del Canódromo de Madrid y la Universidad Laboral de Tarragona.

Eduardo Torroja desarrollará también el diseño completo de una serie de construcciones para Enher en base a estructuras laminares de ladrillo armado. Son la iglesia de Pont de Suert, la capilla de Sancti Spirit in Aigües Tortes y una versión desestimada para la capilla de l'Ascenció en Xerallo. En estos casos, en los que todo el proyecto se debe al mismo proyectista, la estructura adquiere la responsabilidad en exclusiva de determinar la espacialidad interior y configurar la imagen del edificio. El principio experimental y la audacia estructural de sus obras será, a la vez, la mejor publicidad para laboratorio que preside, como argumenta a raíz del proyecto de la capilla de Sancti Spirit:

“En el momento presente, no existe ningún método práctico que permita realizar el cálculo de tensiones en láminas de este tipo, si bien este problema no debería ser motivo para descartar su construcción, incluso aún siendo sus dimensiones mayores que las de este pequeño refugio. Siempre se dispone de métodos

17 En 1934 un grupo de arquitectos e ingenieros, entre los que destaca Eduardo Torroja, fundan una organización privada para desarrollar la investigación en el ámbito de la construcción, el Instituto de la Construcción y la Edificación. En 1946 la entidad se incorpora al Consejo Superior de Investigaciones Científicas y en 1949 se fusiona con el Instituto del Cemento. Actualmente el Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja, IETcc, desarrolla tareas de investigación científica, desarrollo tecnológico en el campo de la construcción y sus materiales, asistencia técnica y divulgación

18 Entre las presas estudiadas en el Laboratorio Central, siendo director Eduardo Torroja, destacan Canelles y Santa Anna para Enher, Aldeadávila para Iberduero, Eume para la Sociedad General Gallega de Electricidad, Valdeobispo para la Confederación Hidrográfica del Tago, Belesar para la Sociedad de Fuerzas Eléctricas del Noroeste y Gévalo para el Instituto Nacional de Colonización. Arredondo Verdú [et al.], 1977, p. 125

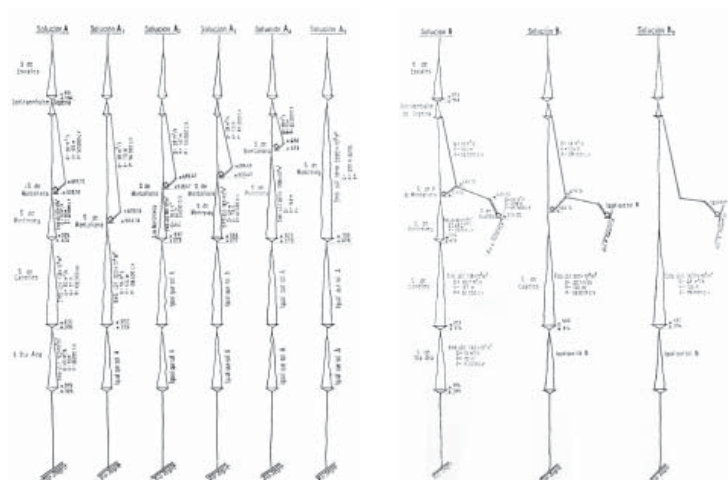


Eduardo Torroja observando un modelo del ábside de la iglesia de Pont de Suert

Archivo Torroja, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

Modelo para el estudio estructural de la cubierta laminar del frontón Recoletos

Torroja Miret, Eduardo. *La cubierta laminar del frontón recoletos*. Documento manuscrito. Madrid, 1936, p. 145. Archivo Torroja, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas



experimentales para investigar su resistencia en laboratorios y centros de investigación especializados en las modernas técnicas de análisis de estados tensionales en estructuras laminares.”¹⁹

El sistema creado para el diseño y cálculo de **Canelles** es a la presa, lo que la cimbra es al arco. Un elemento indispensable para su construcción y del que depende la forma final. Una única cimbra se puede usar para varios arcos, del mismo modo que Torroja plantea un sistema aplicable en otras presas. Pero si normalmente la cimbra se diseña en función de la traza del arco deseado, aquí es al revés. El proceso es responsable de la definición formal de la bóveda, de una forma comparable a los modelos de arcos catenarios con los que Antoni Gaudí calculaba estructuras y formalizaba espacios. Es un método que trasciende la abstracción numérica, que permite acariciar y modelar físicamente la presa desde el inicio del proceso, trabajar directamente con las manos sobre su forma, conformándola.

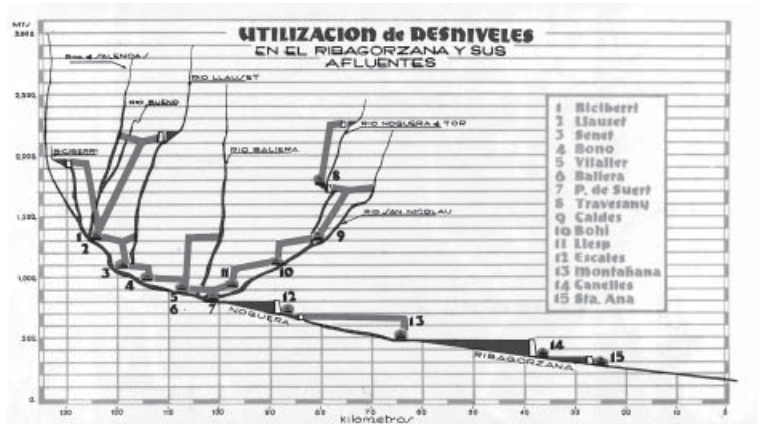
“La generación que nos seguirá quizás pueda admirar todavía las teorías actuales... pero ninguna obra pasará a la posteridad por la perfección de sus cálculos. Solamente la forma, la nueva forma... continuará impresionando.”²⁰

Esquema de soluciones para el aprovechamiento del tramo medio del río Noguera Ribagorzana, y alternativas con trasvase al Noguera Pallaresa

Fernández Ortiz, 2002, pp. 59, 62

19 Eduardo Torroja. Torroja Miret, 1999, p. 184

20 Eduardo Torroja. Arredondo Verdú [et al.], 1977, p. 64



Organizar

En 1946 Victoriano Muñoz Oms y Juan Antonio Suanzes, director del Instituto Nacional de Industria, fundan la Empresa Nacional Hidroeléctrica Ribagorzana (Enher)²¹. Muñoz Oms había redactado el *Pla General d'Obres Públiques de Catalunya* en 1935 por encargo de la Generalitat, el planeamiento del área metropolitana de Barcelona y el *Plan de regulació hidroelèctrica integral del riu Noguera Ribagorzana*, entre otros.

Este brillante inicio de carrera, dedicado a la planificación global de un territorio, será también la planificación de su ejercicio profesional. En condición de director gerente de la compañía, hasta 1963, tendrá ahora los medios para desarrollar el aprovechamiento integral de este río, aparte de un tramo del Ebro entre Escatrón y Flix.

Se confeccionan dos series de estudios de sistematización, una centrada exclusivamente en el río Noguera Ribagorçana y otra, finalmente desestimada, con trasvase al Noguera Pallaresa. **Canelles** representa la piedra angular de dicha explotación, la obra de mayor importancia y coste. Completan el sistema intermedio del Ribagorçana las presas de **Escaldes, Escales y Santa Anna** y la central hidroeléctrica de **Pont de Montanyana**.

Las compañías hidroeléctricas evolucionan rápidamente de la construcción del salto aislado a la sistematización completa de la cuenca. De esta forma, una presa aprovecha la capacidad

21 Enher construye un total de dieciocho instalaciones hidroeléctricas, una fábrica de cemento en Xerallo, instala líneas de muy alta tensión y promueve la primera interconexión eléctrica con Francia

Perfil esquemático del aprovechamiento integral de la cuenca del Noguera Ribagorzana

Enher (ed.). *Aprovechamientos Hidroeléctricos de las cuencas del Ribagorzana y del bajo Ebro*

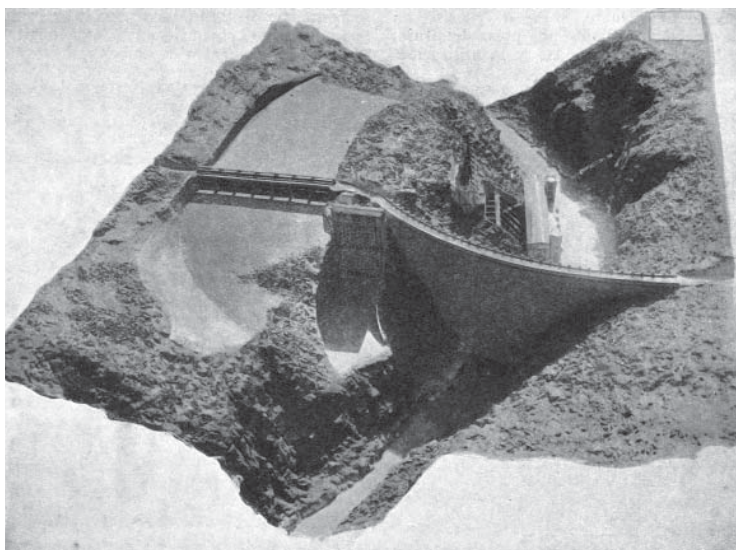
reguladora de la anterior mejorando la eficiencia del conjunto. La siguiente mejora del rendimiento vendrá de la incorporación de centrales de bombeo que permiten devolver el agua en el punto alto en momentos de baja demanda eléctrica. También responderán a una visión global de cuenca los aprovechamientos para el riego, aunque atendiendo a su menor rentabilidad directa, se completarán a otra velocidad. La suma e incluso interconexión del conjunto de sistemas da lugar a una nueva y compleja organización del país. A la red de carreteras o la de ferrocarriles se le suma otra red, quizá menos evidente, pero con un potencial transformador de mayor calibre: la llegada de la electricidad y del agua de riego inducirá cambios profundos en el territorio y en la vida.

José Orbegozo Goróstegui también forma parte de este colectivo de ingenieros polifacéticos que aúnan una gran comprensión territorial y una excelente capacidad de gestión. Es el responsable de aglutinar esfuerzos y concesiones para el desarrollo de un estrategia de explotación conjunta de la cuenca del Duero a su paso por el cañón de las Arribes. Resueltos los conflictos fronterizos con el gobierno portugués, en 1927 ya está listo el proyecto de la presa de **Ricobayo**, cuyas obras se ejecutan entre 1929 y 1934. Situada en el río Esla, ésta es la instalación de cabecera de un sistema que contempla la construcción de seis saltos, a los que se sumarán otros tres en el tramo adjudicado a Portugal.

Ricobayo es una presa de gravedad ligeramente curvada, de 100m de altura sobre cimientos y un volumen de hormigón de 380.000m³; cifras excepcionales que la convierten en una de las mayores presas europeas de principios de los años treinta²². Es una estructura de importancia comparable a las de **Camarasa** y **Talarn**, ambas en la Noguera Pallaresa y terminadas en 1920 y 1916 respectivamente por Barcelona Traction, Light and Power Company Limited.

Camarasa es una obra de referencia para Saltos del Duero, que además recurre al asesoramiento del ingeniero de La Canadiense, Asa White Kenney Billings, junto a otros especialistas alemanes y suizos. El equipo técnico de **Ricobayo** también realiza viajes a los Alpes para visitar las últimas presas allí levantadas.

22 Según el estudio de la revista técnica alemana *Zeitschrift des Vereines Deutscher Ingenieure*, publicado en 1933. Artículo reseñado en: *Revista de Obras Públicas*, 1933, núm. 2618, p. 170



La obra se dota de grandes recursos humanos, económicos y tecnológicos, pero destaca sobretodo por la rigurosa planificación de las instalaciones auxiliares y del proceso de ejecución.

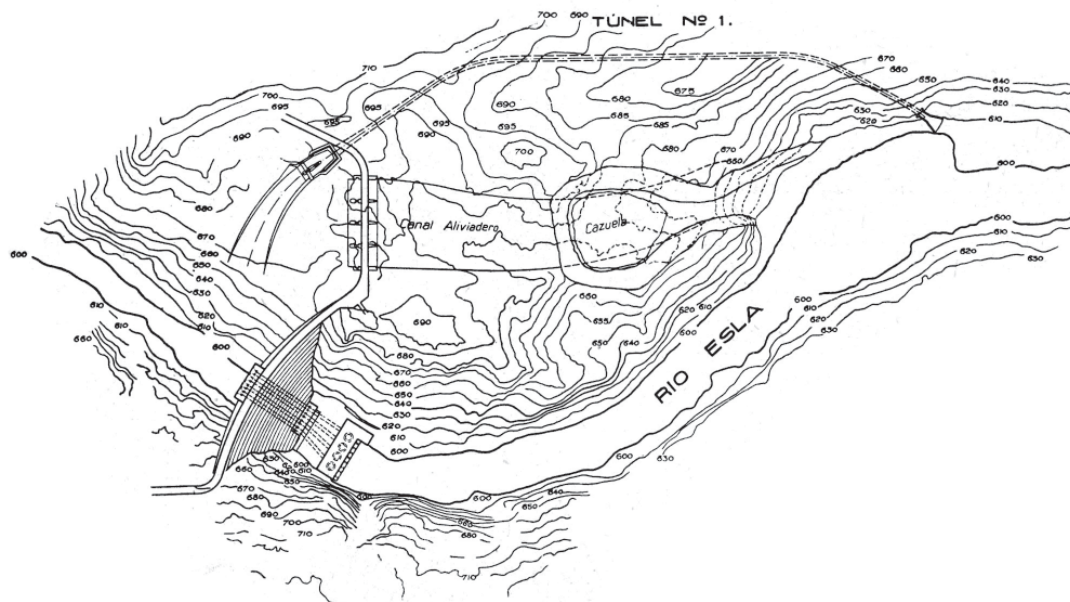
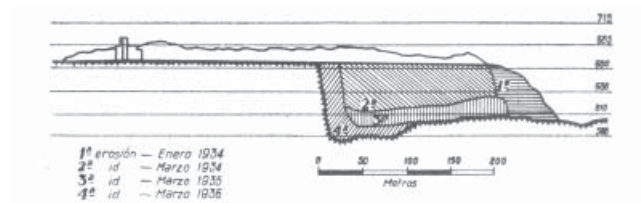
Esculpir

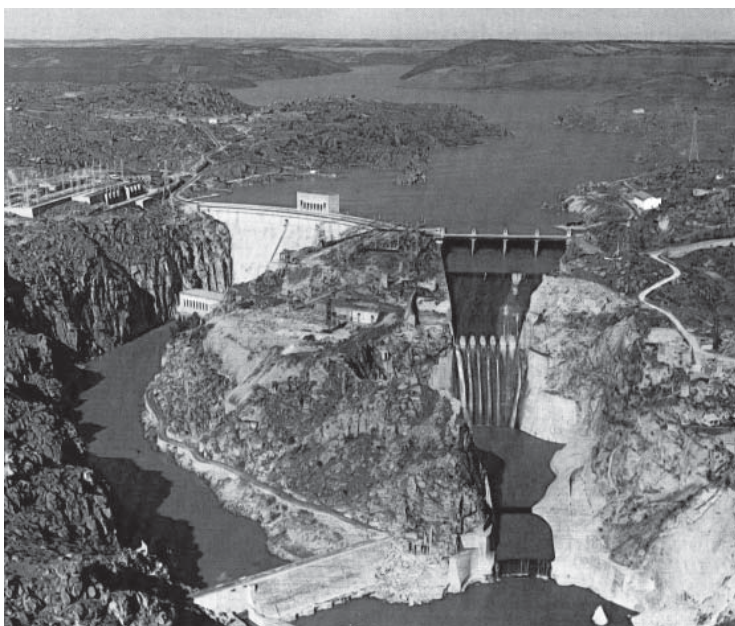
La organización de la central y el aliviadero en relación al paramento es similar a la solución adoptada en **Camarasa** y por extensión en las principales presas coetáneas. La central hidroeléctrica ocupa un edificio independiente aguas abajo, primero dispuesto en paralelo al cauce y finalmente de forma transversal, a pie de presa. Esta sería una evolución similar a la seguida en **Jándula**, aunque conservando aquí una mayor autonomía de las partes.

Las grandes avenidas del Esla, que algunas veces lleva más agua que el propio Duero, conllevan la construcción de un gran aliviadero. Está dimensionado para la evacuación de $6.500\text{m}^3/\text{s}$ y tiene la salida regulada por cuatro compuertas²³ tipo Stoney de 11,55m. La embocadura y el canal de desguace se excavan el macizo granítico de la ladera izquierda, constituido por bloques con diaclasas rellenas de arcilla. Como era habitual, el canal se

²³ El despacho de Eduardo Torroja calcula la estructura de las pilas del aliviadero por encargo de Agroman y también se ocupará de la terminación del viaducto en arco de hormigón Martín Gil sobre el Esla. Archivo Torroja, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas

Maqueta de la presa de Ricobayo, fotografiada desde aguas arriba, con ligeras variaciones respecto al proyecto construido
Martínez Artola, 1929, p. 422





deja sin revestir y recorridos 400m el agua salta al río sin ninguna obra de condicionamiento.

Recién terminada la obra, las avenidas de marzo de 1934 ponen a prueba el aliviadero. La fuerza del agua penetra en las grietas del granito, arrastrando y lavando la arcilla de relleno. Se desmorona gran cantidad de bloques de piedra sometidos a la presión intersticial del agua. La compañía acomete de inmediato obras de reforma y consolidación, pero el año siguiente, también en marzo, otras avenidas excavan aún más la cazoleta. El pozo ya alcanza una cota intermedia entre la embocadura del canal y el cauce del río. A este accidente le suceden otras obras de reparación, que serán también insuficientes. El mismo mes de 1936 otra avenida erosiona el primer frente de vertido y ensancha la cazoleta, un proceso que continúa en una riada tres años después.

El paisaje del incidente es dantesco. Los bloques amontonados en el fondo del cauce son tan grandes que es imposible trasladarlos con ninguna máquina. El trabajo del agua esculpiendo la piedra del aliviadero somete la infraestructura a una situación grave. El proceso erosivo es de tal magnitud que en cinco años retrocede un tercio la longitud del canal y se forma una cazuela de más de cien metros de profundidad. El volumen de materiales excavados por el agua es de 1.136.000m³, triplicando

Cazoleta y portillo abiertos por el agua en el aliviadero de Ricobayo, fotografiados en 1941 y 1936 respectivamente

Fotografías Fernando López Heptener. Archivo Fotográfico de Iberdrola

Perfil esquemático de la regresión del canal del aliviadero entre 1934 y 1936 y planta general con la cazoleta y el nuevo túnel de alivio

Rubio Sacristán, 1940, pp. 159, 157

Vista general de Ricobayo con todas las reparaciones efectuadas

Iberduero (ed.), 1970, p. 31

la cantidad de hormigón empleado en el paramento. La rápida regresión del salto podría comprometer la estabilidad del estribo izquierdo y, por lo tanto, de toda la presa. La gran cantidad de rocas esparcidas en el cauce afectan el funcionamiento normal de la instalación, porque dificultan la evacuación de las crecidas y reducen el salto neto de la central hidroeléctrica en unos diez metros, estando el aliviadero en carga.

Modelar

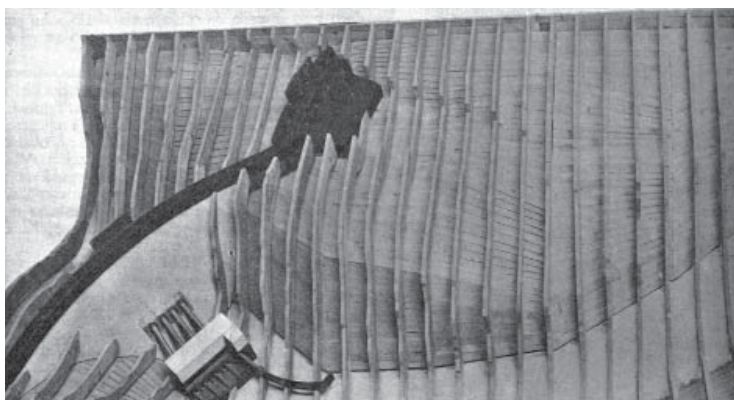
El profesor Theodor Rehbock acude en 1934 a **Ricobayo** por petición de Saltos del Duero²⁴. Es el director del laboratorio de hidráulica de Karlsruhe, creado en 1901 como primera institución en esta especialidad. Los trabajos de reparación sólo se pueden efectuar durante el estiaje, y antes de empezar es preciso retirar los escombros. Con el poco tiempo disponible, las soluciones son provisionales y no resisten la siguiente avenida. Rehbock aconseja la construcción de una presa aguas arriba de la desembocadura del canal para regular el nivel del agua a la salida de la central. También sugiere la apertura de un aliviadero en túnel por la margen izquierda²⁵, una obra estratégica para ampliar las temporadas de trabajo en la reparación.

La transformación física del entorno no termina con la construcción de la presa. El gran caudal sobre un aliviadero sin tratamiento esculpe ferozmente el canal, desfigurándolo avenida tras avenida. Es de tal magnitud el cambio topográfico, que no cabe más opción que aceptarlo. La nueva configuración que el agua ha otorgado al desguace se estabiliza y consolida con un revestimiento de hormigón; una capa que se adapta a la forma del fondo, convenientemente geometrizada en función del encofrado. Es un modelado que fija y estabiliza la topografía esculpida por el agua, pero como buena reparación, incorpora ligeras modificaciones que inciden directamente sobre el flujo, limitando su potencial erosivo.

La diferencia entre la representación en planta de la presa y la cazuela explica a la perfección la naturaleza de cada elemento.

24 Pascual Riesco Chueca narra los viajes de Theodor Rehbock a Ricobayo a partir de un álbum fotográfico del ingeniero, encontrado en una librería de viejo de Múnich. Riesco Chueca, 2009

25 El comportamiento hidráulico de este túnel se estudia previamente en modelo reducido el laboratorio alemán

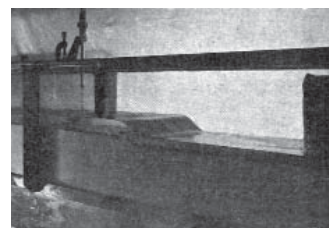


La primera es fruto de un moldeado, es decir, una construcción en base a un molde planificado de antemano, de trazo preciso, bien definido. La segunda es un modelado siguiendo la forma que establece el terreno. Aunque también se realiza llenando un molde, éste carece de una forma predeterminada, simplemente cualifica una superficie que se va adaptando al contorno establecido. El resultado es un paisaje imprevisto e impropio y seguramente por esto extraño y espectacular.

Hasta el momento, los ingenieros estaban preocupados principalmente por la estabilidad de la presa, quedando los aspectos hidráulicos en un plano secundario. **Ricobayo** fue una obra pionera en España respecto a la planificación del proceso y será también la obra que ponga de relieve la importancia del estudio de los órganos de alivio. Por este motivo, Saltos del Duero instala en Muelas del Pan un laboratorio de hidráulica en 1944. Es preciso estudiar el comportamiento hidráulico de las presas planeadas para las próximas décadas.²⁶

A parte del cálculo de presas bóveda, el trabajo en modelo es también una herramienta básica para analizar el comportamiento hidráulico y formalizar correctamente los órganos de alivio. El laboratorio de Mulas de Pan tendrá la oportunidad de volver a estudiar el aliviadero de **Ricobayo** tras los desperfectos de una avenida de $5.000\text{m}^3/\text{s}$ en 1962. Modelizará un dentado sobre el primer frente de caída con una forma que divide y redirige el salto de agua, a fin de disipar su energía.

²⁶ La preocupación por estos aspectos estaba en el ambiente y un año antes Enrique Becerril instituía el laboratorio de hidráulica de la Escuela de Caminos de Madrid



Perfilado en madera de la topografía del emplazamiento de Ricobayo para su posterior relleno con material de recubrimiento

Águila Rada, 1933, p. 400

Modelo para el estudio del comportamiento hidráulico de la solera del aliviadero

Águila Rada, 1933, p. 353

Laboratorio de hidráulica de Saltos del Duero en las Muelas del Pan, con la maqueta del aliviadero de Ricobayo a la derecha

Muriel Hernández, Chapa Imaz, 2002, p. 245

Inyectar

Los trabajos de construcción de la presa de **Canelles** avanzan rápidamente. A principios de 1956 se inician las obras de desviación del río y la construcción de la ataguía, empezando el hormigonado del cuerpo en octubre del mismo año. El uno de julio de 1959 el Jefe del Estado visita varias instalaciones de Enher. Ya en **Canelles**, después de la bendición por el obispo de Lleida, Francisco Franco, su esposa y Juan Antonio Suanzes proceden a accionar respectivamente las turbinas “Nuestra Señora del Carmen”, “Virgen de Montserrat y “Virgen del Pilar”²⁷. Algo más de tres años de obras fueron suficientes para que el pantano quedara inaugurado, pero aún faltarían dos décadas para normalizar la explotación y tres para su llenado total.

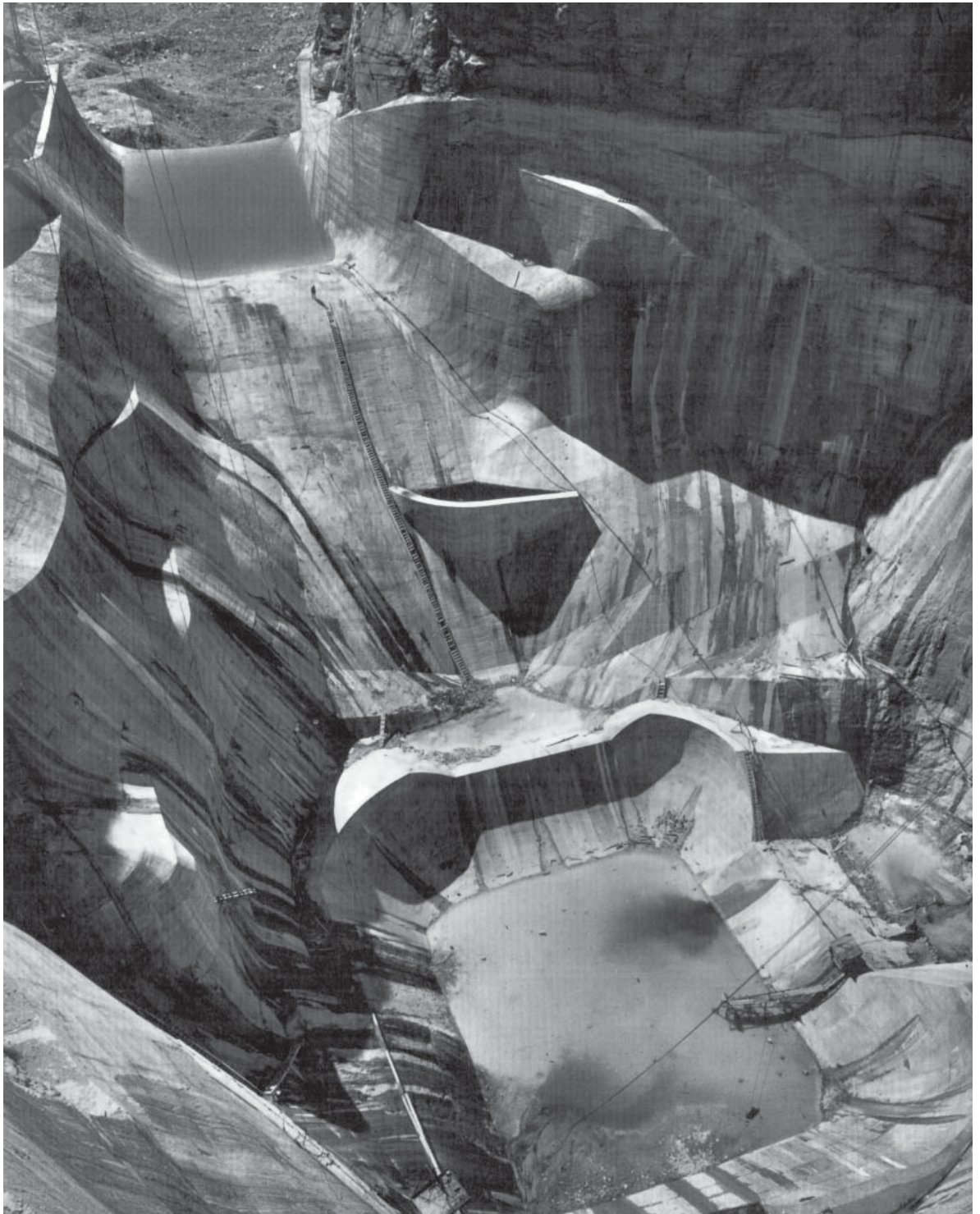
El primer llenado se había realizado el año anterior con el objetivo de hacer entrar en carga gradualmente el terreno y la estructura. Alcanzando el agua unos 25m de altura, se detectan importantes fugas en la ladera derecha. El macizo cárstico presenta una gran cantidad de fisuras, oquedades y tres antiguos ríos subterráneos superpuestos. El proyecto ya preveía completar el cierre hidráulico con una pantalla inyectada desde los cimientos hasta un estrato margoso -denominado capa negra- supuestamente impermeable, alcanzando profundidades de 70m. Se extiende ahora la inyección al interior este estrato, pero continúan las fugas por debajo, aumentando progresivamente por el lavado de la arcilla en las juntas de la formación calcárea. Cada campaña de tratamiento del terreno requiere el vaciado del embalse y su posterior llenado, dejando siempre un margen de seguridad de 40m bajo coronación, que no obstante permita el funcionamiento de la central.

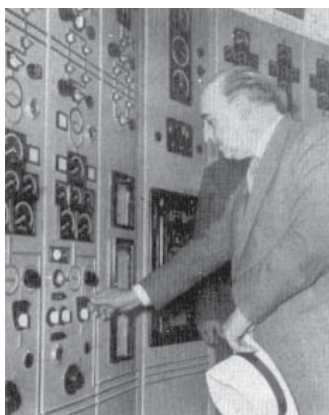
Cortar el camino del agua va a ser una tarea complicada, y la experiencia en la cercana presa de **Camarasa** no es alentadora. En 1925, cinco años después de su terminación, las filtraciones casi alcanzaban los 15m³/s, lo que equivale a dos quintas partes del caudal medio del Noguera Pallaresa. El proceso de inyección fue un trabajo perseverante y a la vez un campo de investigación, utilizando para ello los materiales más inverosímiles²⁸. Las

Cuenca reparado del aliviadero de Ricobayo
Iberduero (ed.), 1970, p. 51

27 *La Vanguardia*, 2 de julio de 1959, portada

28 Finalmente, los mejores resultados se obtuvieron con el empleo de carbonilla. Martínez Roig, 1995, p. 74





El Jefe del Estado inaugura oficialmente la central del Canelles el 1 de julio de 1959
Fotografía Carlos Pérez de Rozas. Sánchez Vilanova, 1991

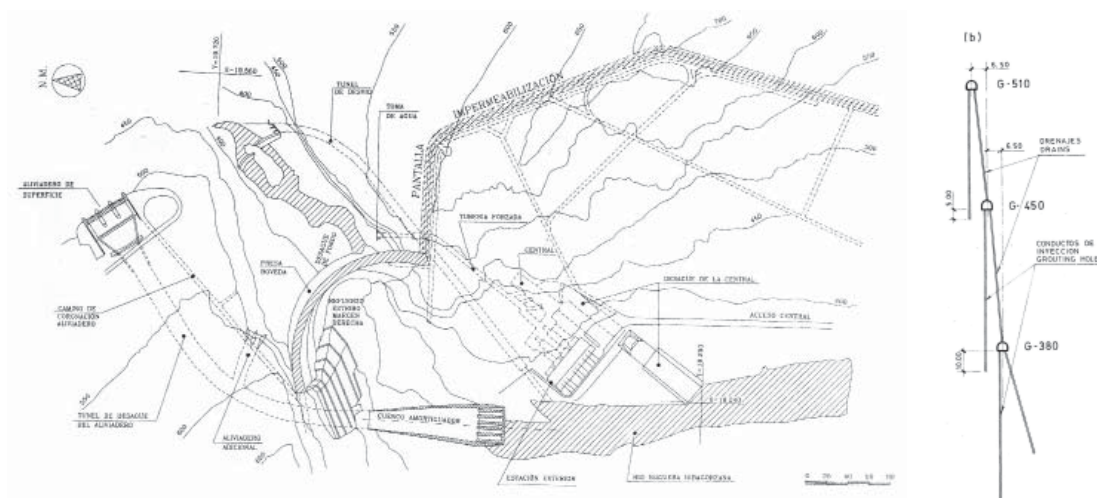
campañas se alargaron hasta 1960, y podría ser éste uno de los motivos, junto a razones económicas, por los que La Canadiense no abordase el proyecto de **Canelles**.

La sustancial falta de estanqueidad del embalse de **Canelles** es el reflejo de que la nueva situación generada por la presa carece de equilibrio. Restituirlo comportará un trabajo de gran envergadura; esto no se resuelve con un simple apaño, cabe abordarlo desde un proyecto en toda regla, con el mismo rigor que requiere el diseño de una presa, pero con más condicionantes. De su éxito depende la utilidad de la inversión, pero también la permanencia de la estructura.

Como paso previo es necesario acometer importantes estudios para determinar la estructura morfológica del terreno y conocer el recorrido del agua. Los resultados permitirán sopesar distintas posibilidades con la ayuda de ingenieros yugoslavos, acostumbrados en terrenos de características similares. Las variantes se establecen en función de la posición de la barrera impermeable, teniendo en cuenta la estabilidad de la ladera frente la nueva situación, además del sistema de trabajo y el coste final.

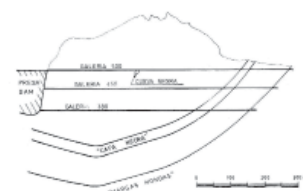
Se descarta cortar el escape desde aguas abajo porque produciría unas presiones intersticiales que abocarían el macizo al colapso. En cambio, se plantean un par de soluciones de estanqueidad superficial desde aguas arriba. Un gunitado del vaso evitaría el contacto del agua con las calizas, pero, aparte de la dificultad de ejecución y su alto coste, la presión interna del agua a embalse vacío podría romper el revestimiento, a no ser que se anclara con bulones. Otra opción estudiada, es la construcción de una presa de escollera con un núcleo de arcilla, inclinado hacia aguas arriba, enlazando con una capa impermeable. El problema en este caso, no es tanto el coste, como la imposibilidad de evitar la filtración desde otras partes del vaso. Aparte cabe considerar las pérdidas económicas que supondría el paro de la central durante las obras.

La solución definitiva se basa en una pantalla inyectada para sellar las juntas y huecos del macizo calcáreo. La situación debe estar lo más próxima al exterior para acercarse al máximo a la capa de margas impermeables, siempre que la parte de montaña en el extradós pueda resistir el empuje del embalse lleno. Entre 1971 y 1976 se perforan tres galerías horizontales, separadas 50m



en vertical²⁹ y cada una desplazada hacia aguas arriba respecto a la inferior. Desde cada galería se realiza una banda de taldros verticales hasta superar la cota de la galería inferior. En las perforaciones se inyecta una mezcla de arcilla-cemento³⁰ para el sellado de fisuras y mortero de cemento y arena para huecos de mayor dimensión. Previamente se han macizando con hormigón las grutas existentes, como la cueva Tortuga. Otra serie de perforaciones inclinadas de galería a galería facilitan el drenaje para limitar la presión del agua, controlada en todo momento por manómetros.

En planta, la pantalla impermeable traza tres tramos rectilíneos formando una concavidad hacia aguas abajo. En cierta medida, reproduce la figura de un arco facetado en continuidad con la bóveda de hormigón. La presa es sólo la punta del iceberg de la estructura que retiene el agua. Otra vez, el movimiento ágil del atleta equivale a su entrenamiento y esfuerzo lo que el éxito de la presa a la gran pantalla de impermeabilización. Su altura supera en un 50% a la bóveda y triplica su longitud. Los 30.000m² aproximados de bóveda se completan con unos 160.000m² de pantalla, 145km de perforaciones y 12.800t de material inyectado. Es un trabajo invisible desde el exterior, pero indispensable para



Planta del conjunto con la pantalla de impermeabilización en relación con la bóveda

Aguiló Alonso, 2002, p. 244

29 A nivel de las cotas de coronación, intermedia y de la central hidroeléctrica, con un desplazamiento horizontal de 6,5m

30 En las partes inferiores al nivel de explotación del embalse se añade un aditivo de fraguado rápido. Millet Maristany, Álvarez Martínez, 1973, p. 434

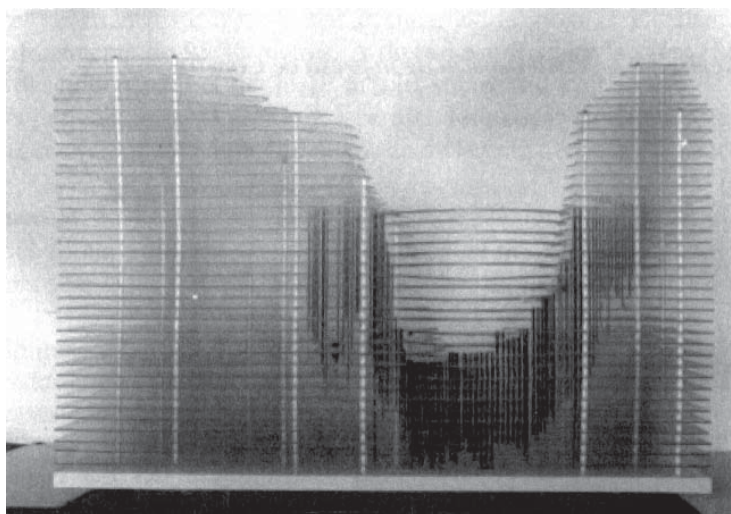
Corte longitudinal y vertical por las galerías de inyección

Millet Maristany, Álvarez Martínez, 1973, pp. 430-431



Rachel Whiteread. *House*, 1993
Fotografía John Davies. Lingwood, James
(ed.), *Rachel Whiteread: house*. London:
Phaidon, 1995, pp. 88, 89

Maqueta de la primera pantalla
de impermeabilización entre los
cimientos y la "capa negra"
Fondo Histórico Endesa



el funcionamiento del embalse. Sólo afloran las bocas de las galerías y los canales de agua drenada cuyo contenido en cal evidencia un proceso continuo de disolución³¹, la batalla no ha terminado.

Es imposible conocer la forma de las oquedades finalmente rellenadas. En plano sólo se representan las principales cuevas y la batería de taladros de inyección, como si se tratase de un pilotaje. La documentación gráfica se aproxima más a un plano de replanteo que a un dibujo de la pantalla realmente configurada. Nos podemos imaginar una reproducción en maqueta de la presa real, en la que bóveda y pantalla explicitarían la diferente idiosincrasia de su molde. La bóveda responde a un molde preciso y definido, la pantalla a un molde completamente caprichoso e irregular, unas veces limitado a un fino tejido de relleno de fisuras, otras a grandes bolos colmatando cuevas. El vaciado de las oquedades de la montaña no es tan diferente al llenado de los calchi pompeyanos, en los que el yeso ocupa los intersticios que dejaron las personas y animales engullidos por la colada basáltica. La presa, en cambio, nos haría pensar en la intervención *House* de Rachel Whiteread de 1993 basada en el relleno del espacio interior de una casa londinense. El volumen de las habitaciones es cualificado por las molduras de zócalos, carpinterías y escaleras, y de él sobresalen ventanas y chimeneas en forma de cuerpos volados.

31 Los trabajos de impermeabilización han permitido una reducción de las fugas de agua desde los 6m³/s hasta menos de 2m³/s. Millet Maristany, Álvarez Martínez, 1973, p. 436



No sería difícil imaginar la bóveda de **Canelles** fruto de un proceso similar, porque todos los elementos que reúne se agarran al cuerpo y se resuelven en hormigón, desde las finas pasarelas y escaleras hasta complejo artilugio de desagüe de fondo.

Ahormar

Coincidiendo con el inicio de la explotación de **Canelles**, a finales de 1959 se produce la rotura de la presa bóveda de **Malpasset** en el río Reyran, Francia. Un accidente debido al colapso de la ladera izquierda³² por la presencia de una falla tectónica por la que penetraba el agua embalsada generando grandes presiones internas.

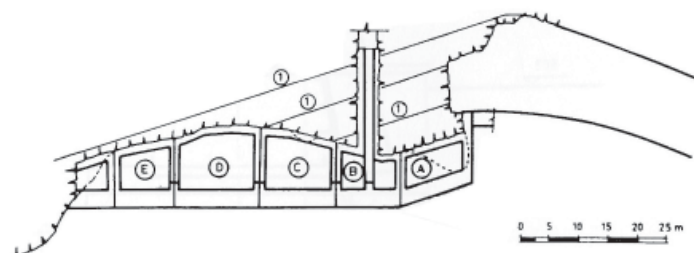
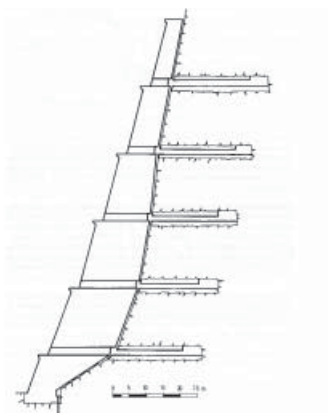
A raíz de los exhaustivos estudios geológicos realizados para solucionar la falta de estanqueidad de **Canelles**, surge la duda sobre la capacidad de la ladera derecha para resistir el empuje de la presa a embalse lleno. La bóveda se había encajado cerca de la salida de cañón para enlazar a través de una pantalla de inyecciones con la capa arcillosa impermeable³³. El Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas lleva a cabo más estudios geológicos y morfológicos de la estructura de la roca y el material de relleno, medidas in situ y en laboratorio para comprobar los módulos de deformación y corte.

32 La fracturación se produce en la ladera, separada de la zona de contacto

33 Alonso Pérez de Ágreda, 2000, p. 101

Ensayo en modelo reducido del refuerzo del estribo derecho en el laboratorio ISMES de Bérgamo

Alonso Pérez de Ágreda, 2000, p. 104

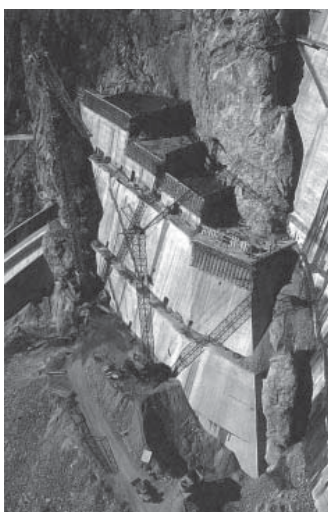


Para el análisis del comportamiento del conjunto bóveda-cerrada, el laboratorio Ismes de Bérgamo elabora una serie de 20 modelos geomecánicos a escala 1/80. El terreno se reproduce con bloques orientados cuya cara principal, de disposición vertical, coincide con las juntas de la formación geológica y la base buza 45° hacia aguas arriba según los planos de estratificación.

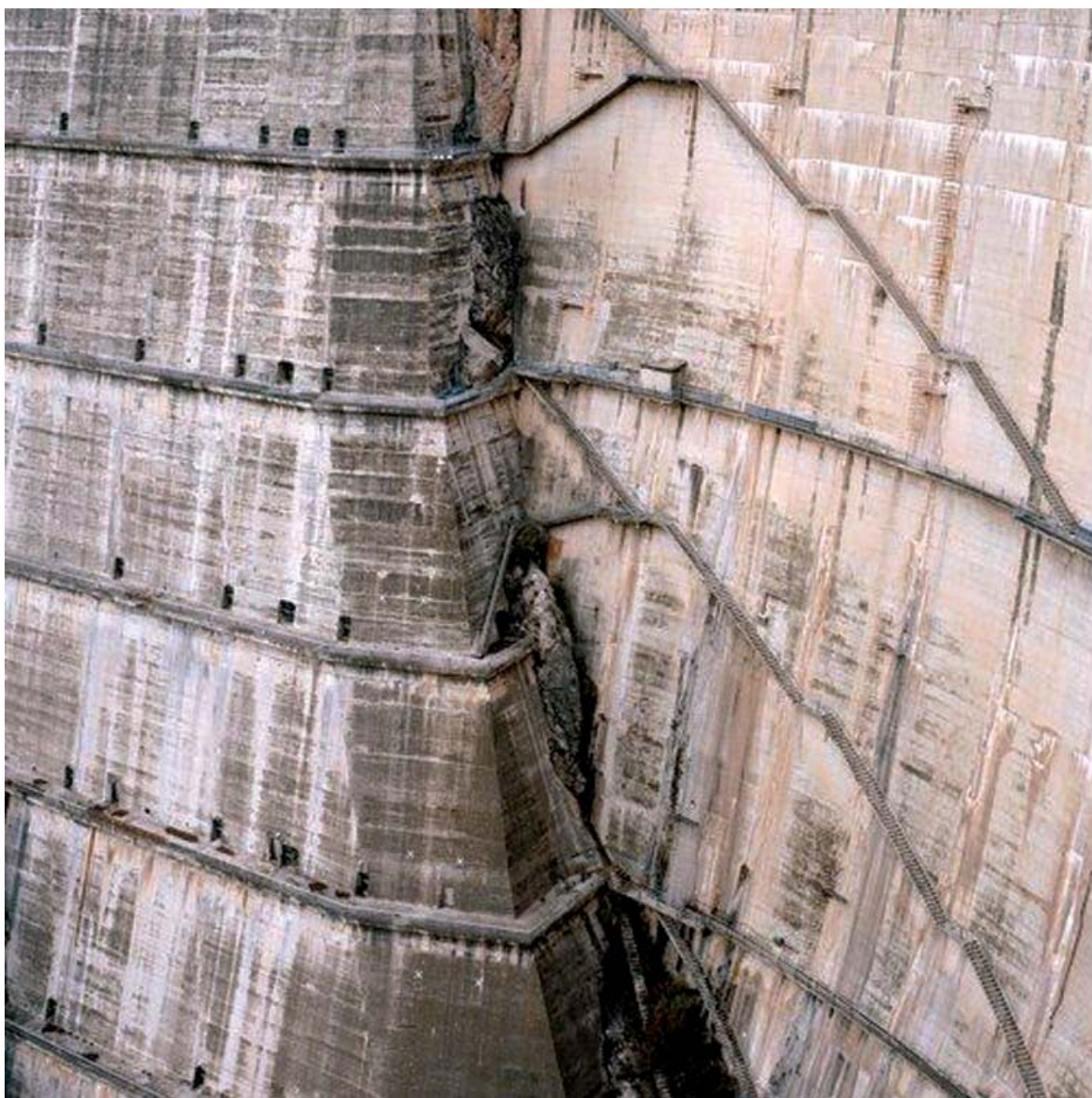
El estudio en modelo es apropiado para la bóveda porque, al trabajar por forma, su peso propio es poco importante en relación a las cargas hidrostáticas. Esto permite operar sobre la maqueta con unas acciones proporcionales a las reales. Sin embargo, en el caso del terreno, el peso propio si que es trascendental y con un modelo a escala es difícil reproducir el estado tensional de la roca. Como factor de corrección se aplica una fuerza de gravedad proporcionalmente superior a la escala del modelo.³⁴

Ante la necesidad corroborada de reforzar el estribo derecho, el equipo liderado por Eugenio Vallarino y Alfonso Álvarez propone revestirlo con un muro de hormigón en masa. Es una estructura de hormigón, adosada a la cara exterior del paramento calizo, con un desarrollo desde el cuerpo de la presa hasta la salida del aliviadero. Al cuerpo cóncavo de la bóveda se le suma ahora otro de traza convexa, realizado con el mismo material. La boca del túnel del aliviadero, hasta el momento aislada, pasa a formar parte de lo que aparentemente es la presa.

En la junta entre ambas estructuras afloran algunas rocas que evidencian la independencia de los paramentos. Sin embargo, hay una serie de aspectos que relacionan la nueva intervención con la bóveda, formando una unidad superior. Aunque la altura del refuerzo es menor, comparte con la presa una cota de coronación



³⁴ Este aspecto, sumado a la dificultad de modelar la estratigrafía y composición de la cerrada, llevan al límite la idoneidad del ensayo en modelo. Alonso Pérez de Ágreda, 2000, p. 102



Planta, perfil y proceso de
hormigonado del refuerzo del estribo
derecho

Vallarino Cánovas del Castillo, 1989, pp.
991, 992, 996

Contacto entre bóveda y refuerzo del
estribo

Édouard Decam. *L'eau, les barrages, le
paysage*, 2006-2008

parecida, alcanzando los 100m de altura. Siguiendo un proceso constructivo similar al de una presa, está hormigonado en bloques verticales, de unos 20m de ancho cada uno, para facilitar la ejecución y controlar las retracciones³⁵. Las juntas entre bloques coinciden con los quiebros del paramento y con las bocas de los cinco niveles de galerías horizontales de anclaje. Cada galería penetra en la roca más de 25m con un perímetro de barras de acero recubiertas de hormigón y un núcleo ahuecado que permite el registro.

El muro mantiene un talud exterior constante, que da lugar a grosores en la parte media de hasta 20m que se reducen a 5m en la parte alta. Es un ejercicio que somete la ladera a una cierta regularización, la reconoce matizándola con una estructura geométrica autónoma. Verticalmente se divide en seis tramos, con bermas de 3m entre cada uno y una galería interior de drenaje. Uno de cada dos escalones mantiene la misma cota que las pasarelas de la bóveda. Cada rellano del muro de refuerzo saca un pequeño perfil en voladizo sobre la parte inferior, proyectando una sombra que acentúa estas trazas horizontales, como lo hacen las pasarelas sobre la bóveda.

Las obras de refuerzo implican un volumen de 100.000m³ de hormigón, que representa algo menos de un tercio del material empleado en la presa. Se llevan a cabo entre 1974 y 1977; el año siguiente **Canelles** recibe la autorización para el llenado total, aunque esto no sucederá hasta 1996.

Componer

El buen funcionamiento de la presa depende de las características geológicas e hidrológicas del lugar donde se emplaza. Las tensiones del cuerpo y del agua, así como el caudal vertiente cambiarán los parámetros del entorno. El proyecto no sólo se basará en proyectar una estructura estable en base a unos condicionantes determinados, sino también en garantizar que la presa y el embalse seguirán siendo seguros y funcionales frente las nuevas condiciones generadas.

Es un camino de aprendizaje a través de la experiencia, que permite incorporar paulatinamente mejores sistemas de análisis

35 Vallarino Cánovas del Castillo, 1994, p. 994



y cálculo. Los errores son la oportunidad para estudiar aspectos a priori insospechados. Si el agua es fuente de problemas en muchos edificios, en una presa es un aspecto de primera magnitud, como también lo es la cimentación. Las incidencias en el aliviadero de **Ricobayo** permiten tomar conciencia de la importancia del estudio pormenorizado de los órganos de alivio y el accidente de Malpasset induce a revisar las condiciones de estabilidad de los estribos de **Canelles**.

La reparación de la cazuela y del macizo se realizan a partir del modelado. Del mismo modo que se opera en la confección de maquetas para el estudio estructural o hidrodinámico. Pero aquí hay una base orográfica de partida a la que se le da forma con una capa de hormigón. El resultado final se ajusta al máximo a las condiciones topográficas, pero introduce pequeñas modificaciones que mejoran sus capacidades, del mismo modo que lo hace el zapato sobre el pie. A parte de garantizar la estabilidad, en uno se añaden elementos imprescindibles para el control del flujo, en el otro drenajes y galerías de registro. La geometría de los revestimientos es también el rastro del sistema constructivo empleado, implicando el encofrado con paneles un facetado de

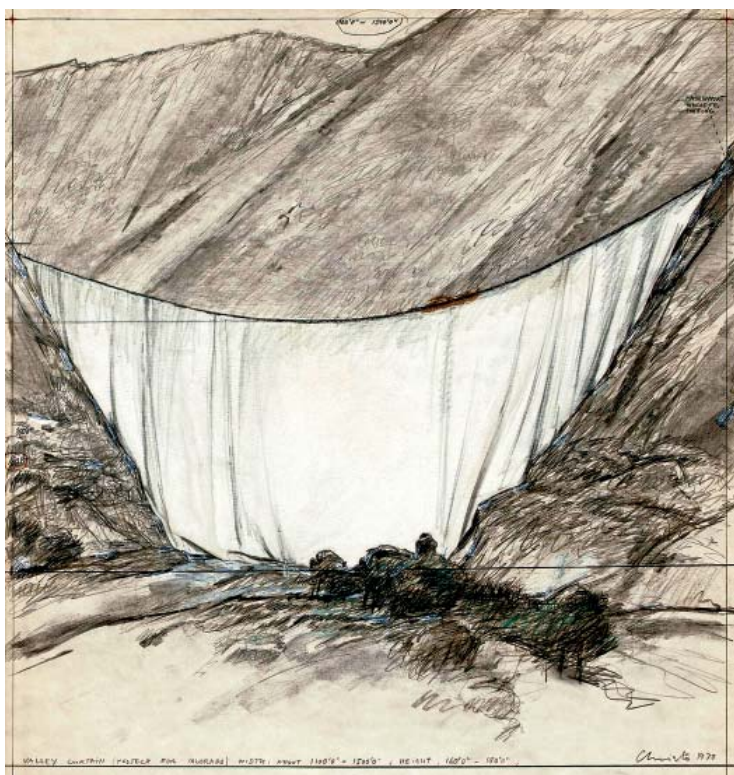
La presa de Canelles reparada
Aguiló Alonso, 2002, p. 247



Christo y Jeanne-Claude. *Wrapped Coast*, 1969
Fotografía Harry Shunk

las superficies. Así sucede con el empaquetado de los acantilados de Little Bay en Sídney perpetuado por Christo y Jeanne-Claude entre 1968-69. El velo yuxtapone a la forma de las rocas sus propias cualidades, cambia la textura y minimiza los pequeños accidentes, resaltando a la vez los grandes rasgos. La nueva capa incorpora una geometría fruto del comportamiento material de la tela, en función su estado de tensión. También es decisiva la huella de los medios auxiliares; la forma que adopta la tela también está condicionada por el entramado de cables.

El resultado de las reparaciones es atribuible a la resolución in situ de un imprevisto, es decir, no forma parte del proyecto inicial, lo que seguramente le habría dado otra solución y otra forma. La reparación de **Canelles** ejemplifica a la perfección la actitud de los proyectistas. Resolver la estabilidad es crucial, pero también es un “por supuesto”. La intervención de Vallarino y Álvarez de los setenta se suma a la de Eduardo Torroja, quién falleció en 1961. Pero más que una suma es una multiplicación. El resultado final se percibe como un conjunto inseparable, conscientemente



entrelazado. Es fruto de saber leer cuales son las características morfológicas del cuerpo existente y la ladera a estabilizar, potenciándolas, tendiendo vínculos.

“Proyectar, aun cuando sólo sean estructuras, si bien tiene mucho de ciencia y técnica, tiene mucho más de arte, de sentido común, de afición, de aptitud, de delectación por el oficio, de imaginar la traza oportuna, a la que el cálculo sólo añadirá los últimos toques con el espaldarazo de la garantía estático-resistente.”³⁶

Detrás del tipo de presa de bóveda hay la búsqueda de una construcción delgada, fina, optimizando la cantidad de material empleado y minimizando la superficie de contacto con la ladera. Subyace la idea de una cáscara que se instala delicadamente en el territorio, colmatando la cerrada esculpida por el río. La construcción se proyecta con una forma y unos límites muy precisos

36 “Quince mandamientos estéticos de Eduardo Torroja -extraídos de sus textos y apuntes de sus clases-”. Fernández Ordóñez, 2009, pp. 89-91

Christo. *Valley curtain*, 1970
Fotografía archivo Christo y Jeanne-Claude. Colección particular

que le dotan de completa autonomía formal respecto a las laderas. Unas características que realza la intervención *Valley Curtain* de Christo y Jeanne-Claude. Entre las laderas del valle del Rifle en Colorado, un cortinaje suspendido, finísimo. El aire lo tensa adoptando una forma de bóveda de doble curvatura, acentuada perceptivamente por la flecha del cable de suspensión.

Sin embargo, las bocas de los aliviaderos y la central son las señales visibles de un entramado subterráneo de gran magnitud. Las pantallas inyectadas quintuplican el paramento impermeable visible. Toda esta obra oculta junto con los trabajos de estabilización de la ladera agarran la cáscara irremediabilmente al entorno. Ahora ya no está tan claro que la presa sea un elemento superpuesto, de contacto escueto con la ladera, de “quita y pon”, un objeto icónico y aislado. En el resultado final es muy difícil saber donde termina la presa y donde empieza la cerrada, no está claro si el muro de estabilización o las pantallas corresponden a la presa o a la ladera. La infraestructura ahora se funde con el paisaje, es un paisaje modelado.

Revolución de la forma

Susqueda

Este fabuloso y colosal esfuerzo humano que suponía la integración del generoso derroche de energías de todos aquellos que iban a colaborar en una realización de aquella envergadura, ¿contribuiría realmente a aumentar, aunque fuera en pequeña medida, el bienestar del ciudadano?; ¿aportaría este esfuerzo, algo positivo a su patrimonio espiritual y cultural?

Arturo Rebollo¹

El tren de Olot estrena en 1964 una nueva parada. El apeadero de la Hidroeléctrica² se alza colindante con los talleres de la compañía y el poblado de los ingenieros, y próximo al desvío de la carretera que se adentra desde aguas abajo en el cañón del río Ter. Es una estructura formada por dos paraguas de hormigón armado con una geometría peculiar. Las copas, de planta cuadrada, dibujan un perfil triangular, estando situado el punto medio de las caras en una cota superior a las aristas. Una superficie alabeada reúne el perímetro del paraguas con un único centro sobre el pilar. Este, de fuste creciente hasta la coronación, se resuelve por una transición entre pie rectangular y cabeza circular. La dimensión mayor de la base se orienta de forma perpendicular al andén, para dar la estabilidad que en el otro sentido compensa el paraguas contiguo. La geometría de la copa otorga inercia a la estructura volada, lo que permite un canto finísimo, de tan solo seis centímetros. Todo es estructura y todo está resuelto en hormigón, también el pavimento y el borde del andén. La

1 Rebollo Alonso, Arturo. "El equilibrio como estructura". *Ingeniería y arquitectura del hormigón: instantáneas sobre el salto de Susqueda*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1974, pp. 10-11

2 Ferrocarril de vía estrecha de Olot a Girona, punto kilométrico 21,8. Clarà Resplandís, 2004, p. 62

iluminación nocturna, con focos empotrados en el suelo, realza las superficies de transición y la levedad de la estructura; las copas recortadas en la oscuridad adquieren el carácter de un ejercicio en papel. Esta es la mejor carta de presentación de lo que depara el salto de **Susqueda**, la búsqueda de la ligereza a través de la forma.

La levedad de esta estructura y la manera de conseguirla cobran más vigor ante la llegada del tren. Frente a los finísimos paraguas de hormigón, una vetusta máquina a vapor arrastrando vagones de madera. El apeadero blanco e impoluto; la máquina negra, humeante y grasienta. La comparación nos remite a las imágenes de las casas, también blancas, de Le Corbusier con su automóvil Voisin aparcado enfrente. Sin embargo son situaciones bien diferentes que solo una mirada temporalmente distante las empareja. La villa Stein y el Voisin, e incluso la locomotora del tren de Olot, son coetáneos, aunque edificio y máquinas han evolucionado en tempos distintos acrecentando la anacronía que aparentan. Apeadero y ferrocarril, en cambio, son piezas concebidas en distintas épocas. Su coincidencia espacial y temporal refleja el choque que supone la concepción de **Susqueda** frente una opinión pública que, si bien asocia el tren al pasado, entiende las presas intrínsecamente vinculadas a un muro de gran espesor.

El 15 septiembre de 1965, Federico Silva, ministro de Obras Públicas visita la evolución de las obras del pantano. Ya en Girona, despacha con el presidente de la Diputación Provincial algunos temas; por un lado la preocupación ante la falta de mantenimiento y los rumores sobre el cierre de los ferrocarriles de vía estrecha. De otro, la inquietud en amplios sectores de la sociedad respecto a la presa en construcción.³

La polémica se desata tras el conocimiento de la noticia de la construcción en 1958. Durante más de quince años la prensa es el altavoz del temor ante **Susqueda**, con titulares como “el pantano de la discordia” o “cadena perpetua”. Evidentemente, preocupa como afectará al caudal de río Ter el trasvase de 8m³/s hacia Barcelona⁴, pero difícilmente se oyen voces en contra la construcción del embalse; no es una cuestión que se ponga en duda. La discrepancia subyace en un asunto de forma, literalmente de forma.

3 ABC, 15 de septiembre de 1965, p. 46

4 Corresponde con el 46,65% del caudal circulante en este punto, según datos de la Agència Catalana de l'Aigua en 2004. Pavón Gamero, 2012, p. 281



Las críticas van dirigidas al tipo de estructura elegido, la bóveda. La novedad de la solución, la gran altura del paramento comparado con **Sau** o **El Pasteral**, la alta sismicidad de la zona y los recientes accidentes en presas del mismo tipo en **Malpasset** y **Vajont**, son motivos suficientes para una inquietud generalizada. El ingeniero industrial Josep Maria Noguera sentenciaba “El caso de Gerona es ser o no ser; existir o desaparecer en pocos minutos”⁵ y desde *Destino* Joaquim de Camps Arboix se preguntaba “¿Cómo evadir el espanto del remordimiento anticipado en caso de dar lugar al desenlace del desastre?”⁶

Solo faltaba que Hidroeléctrica de Cataluña publicitara que una presa bóveda era más económica respecto a una de gravedad, para que desde la Cámara de Comercio e Industria se cuestionara “¿es que no valemos los 200 millones en que se cifra la diferencia de coste, la enorme humanidad que somos y la extensa riqueza que tenemos en nuestro amenazado valle del Ter?”⁷. El

5 1 de enero de 1967. Dalmau, 1967, p. 6

6 *Destino*, núm. 1539, 4 de febrero de 1967

7 *El Correo Catalán*, 15 de enero de 1967

Apeadero de la Hidroeléctrica en la línea de ferrocarril de Olot a Girona
Fotografía Paquí, 1968. Clarà Resplandís, 2004, p. 62



pistoletazo de salida lo había dado el informe emitido en 1959 por el jefe de vías y obras de la Diputación, el señor Izquierdo Carnero, en el que apuntaba el camino a seguir:

“Así pues en Susqueda hay que exigir seguridad absoluta, con presa bien cimentada, tipo tradicional, en cuyo sencillísimo cálculo no cabe error. Es el tipo de la presa de Sau, Tremp, Camarasa, Ricobayo, etc. Con este tipo, Susqueda exige en su base 100m como mínimo, en vez de aquellos ridículos 15 de la “cáscara de huevo.”⁸

El temor hacia la presa, la intensidad en que estas informaciones habían incidido en la ciudadanía, queda patente el 22 de abril de 1983, quince años después de su terminación. Ràdio Girona emite fragmentos de la novela *Susqueda* de Miquel Fañanàs, una

La cerrada de Susqueda con un posible encaje de la bóveda
Fotografía Ubiña. Rebollo Alonso, 1972, p. 17

8 Dalmau, 1967, p. 6

historia de ficción que relata el colapso de la cáscara de huevo con la inundación de todos los pueblos aguas abajo. A pesar de haber advertido que se trataba de una obra de ficción, muchas personas evacuaron rápidamente sus hogares. Hasta en Girona ciudad el alcalde Joaquim Nadal tuvo que visitar casa por casa de algunos barrios para calmar la población.

Mientras tanto, la administración central e Hidroeléctrica de Cataluña intentan transmitir confianza en el proyecto que se está llevando a cabo. Pedro Durán Farell, consejero delegado, da un golpe de efecto para tranquilizar los accionistas organizando, en 1967 y por primera vez, la junta general a pie de obra con excursión, visita y almuerzo incluidos. Acuden desde Barcelona mil novecientos cincuenta comensales, una cifra superior a los 1.600 trabajadores de la presa⁹. Durante el parlamento a los invitados, Durán aprovecha para desmentir algunos rumores:

“En ningún caso la elección del tipo de presa ha sido motivada por cuestiones económicas. En la de Susqueda, nacida en una época con complejo de catástrofes de presas, se han extremado los estudios y precauciones.”¹⁰

El viento sopla a favor de la compañía y los ingenieros. El régimen apuesta firmemente en la obra hidráulica, destinando gran cantidad de recursos económicos a la construcción de presas. Subyace la idea que para la modernización del país es primero indispensable asegurar el suministro de agua y la producción de electricidad. En este contexto de desarrollismo, la energía juega un papel primordial, llegando a convertirse en símbolo abstracto de lo moderno, artífice de la transformación.

El referente físico, tangible y enseñable, motivo de orgullo ante la escena internacional, son las *fábricas* productoras de electricidad. En una situación similar a la del primer tercio de siglo, pero a otra escala; las presas son el mejor escaparate de la modernización de España. Para abordar la construcción de tal cantidad de

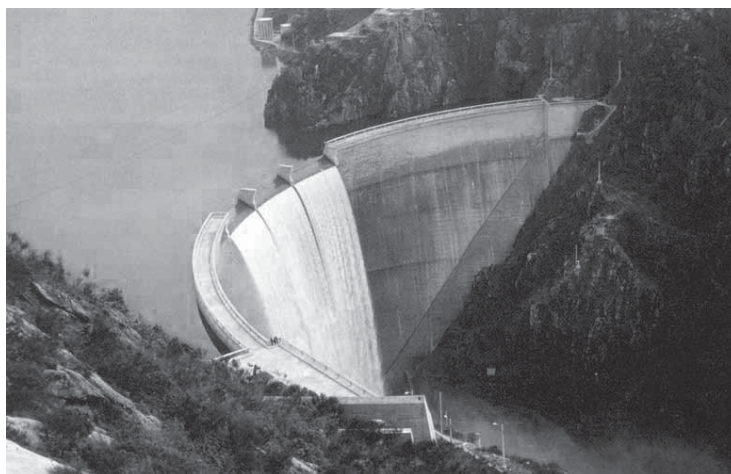


9 El número de invitados y las cantidades de comida servida están a la escala de la obra, pero también la forma de enumerarlas. “Se consumieron 436Kg de butifarra, 500 botellas de vino blanco, 500 botellas de vino tinto, 500 botellas de agua mineral, 300 litros de café, 90Kg de jamón Serrano, 50Kg de longaniza, 100Kg de otros embutidos, 300Kg de judías, 4.000 chuletas, 200 porrónes llenos de vino moscatel para postre, etc”. Dalmau, 1967, p. 6

10 Dalmau, 1967, p. 7

Visita a las obras de 1950 accionistas, durante la junta general a pie de obra en 1967

Hidroeléctrica de Cataluña (ed.). *Memoria y balance: correspondiente al ejercicio de 1967*. Barcelona: Hidroeléctrica de Cataluña, 1967



presas, asumiendo además su papel representativo, las empresas, a parte de tener buenas plantillas de ingenieros, saben rodearse de técnicos de primera línea.

La experiencia acumulada en la década de los cincuenta y la apertura económica de 1959 ponen los cimientos de una época dorada de las presas en España. Coinciden unas bases de conocimiento asentadas y métodos de cálculo a disposición, los primeros laboratorios de estudio en modelo, personal cualificado y maquinaria eficiente. Las cáscaras de huevo son, sin duda, la imagen perfecta del afán de abrazar la última tecnología disponible, pero también un reflejo del poder en manos de la tríada gobierno-compañías hidroeléctricas-ingenieros. Las bóvedas están normalmente vinculadas a explotaciones hidroeléctricas, bien sea por la forma y altura de las cerradas atractivas para la producción, bien sea por la capacidad económica de los promotores. También el final de la década marca un punto de inflexión en la demanda eléctrica, encaminándose hacia un crecimiento exponencial. Esta conjunción, con técnicos de primera línea, da lugar a las primeras bóvedas ejemplares, pasos firmes a la vez que atrevidos en el afianzamiento del tipo. Pasos agigantados que acortan la distancia con el estado del arte de los países que marcan la pauta.

Detrás de estas primeras obras siempre hay una figura caudal, un autor presente en la presa hasta las últimas consecuencias. Lejos de ser un encargo anodino, el proyecto es una oportunidad para afrontar lo desconocido. El camino está por hacer, con lo

que el diseño no lo es solo de la obra sino también del proceso de concepción. Esto dará lugar a la publicación de un gran número de artículos en revistas especializadas, sentando unas bases de conocimiento que influirán en las siguientes presas.

El salto de **Canelles**, proyectado por Eduardo Torroja para Enher, será la primera gran bóveda española. Sin embargo, el peculiar proceso proyectual basado en el trabajo casi exclusivo en modelo reducido acabará en vía muerta. La presa coetánea de **Eume**, de Luciano Yordi de Carricarte para Fuerzas Eléctricas del Noroeste, terminada en 1960, será en cambio el punto de partida de una nueva cadena evolutiva en el tipo. La geometría derivada del trazado de la cáscara en doble curvatura¹¹ es aquí aprovechada para el vertido por coronación. Posteriormente en **Belesar**, terminada en 1963 para la misma compañía, Yordi de Carricarte incorporará una bóveda trazada con arcos de tres centros¹² para mejorar la incidencia con las laderas y resolverá el gran caudal a evacuar con dos trampolines laterales que sirven también de refuerzo de los estribos.

Continuarán este camino de pioneros, las aportaciones de **Valdecañas** para Hidroeléctrica Española de Manolo Castillo y Diego Martínez Boudes en 1964, con una interesante disposición de la central a pie de presa al resguardo de una contrabóveda. La presa bóveda más esbelta jamás construida en España será **Santa Eulalia**, de Alejandro del Campo en 1966. Les seguirán realizaciones ejemplares posteriores como **Susqueda**, **La Almen-dra** de Pedro Guinea y el equipo de Iberduero, **El Atazar** o **Las Portas**. Quizá la presidencia de José Torán entre 1970 y 1973 del Comité Internacional de Grandes Presas sea el hito que certifica la anhelada equiparación de la audacia técnica.

El pantano de **Susqueda** debe entenderse funcionalmente dentro del sistema Sau-Susqueda-El Pasteral con el que se pretendía asegurar el suministro de agua potable a la creciente área metropolitana de Barcelona, fomentar el regadío en las planicies que se extienden de Girona hacia el mar y producir energía

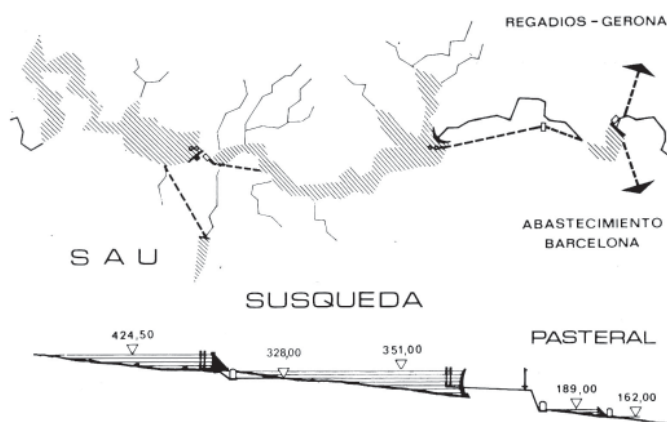


11 Las presas bóveda de doble curvatura doblan el perfil hacia aguas arriba para neutralizar, con el peso propio, las tracciones debidas al empuje del agua en el pie de presa de aguas arriba. Yordi de Carricarte, 1961, p. 375

12 En la presa bóveda de arcos policéntricos o arcos parabólicos, los arcos pierden curvatura al acercarse al punto de arranque. De esta forma mejora la incidencia de la estructura con la ladera, las ménsulas laterales pueden equilibrarse mejor sin necesidad de recurrir a un mayor desplome de la ménsula central, y se hacia aguas abajose evita la torsión sobre las ménsulas laterales. Yordi de Carricarte, 1961, p. 376

Presas bóveda de Eume, Belesar, Valdecañas y Santa Eulalia

Vallarino Cánovas del Castillo, 1989, p. 46 / Yordi de Carricarte, 1973, p. 586 / Castillo Rubio, Martínez Boudes, 1964, p. 316 / Fernández Casado, 1975, p. 597



Aprovechamiento integral del río a su paso por Les Guilleries y esquema de las zonas de regadío y el trasvase a Barcelona

Rebollo Alonso, 1972, p. 7

Presas y centrales hidroeléctricas de Sau y El Pastoral

Fondo Histórico Endesa

eléctrica¹³. Entre la plana Vic y el llano de Girona, el río Ter cruza el macizo de las Guilleries por un angosto recorrido entre las sierras de Montdóis y Sant Benet, con un desnivel de unos 300m.

Sau constituye el embalse de cabecera con 157hm³ de capacidad, represados por un paramento de gravedad de 83m de altura, a cargo del Estado, y una central a pie de presa asumida por Hidroeléctrica de Cataluña. Las obras del pantano, ya planeado en los años 30, empiezan en 1949¹⁴. **El Pastoral** actúa de contraembalse a la salida del cañón, recibiendo las aguas turbinadas de **Susqueda** y asegurando tanto el suministro a Barcelona como la regularidad en el caudal aguas abajo. Esta fue la primera obra hidráulica importante de las comarcas de Girona, terminada en 1887 para usos industriales y posteriormente equipada para la producción eléctrica¹⁵. En 1962, coincidiendo con la entrada en servicio de **Sau**, terminan las obras de recrecimiento de 6m hasta alcanzar una altura de 25m.

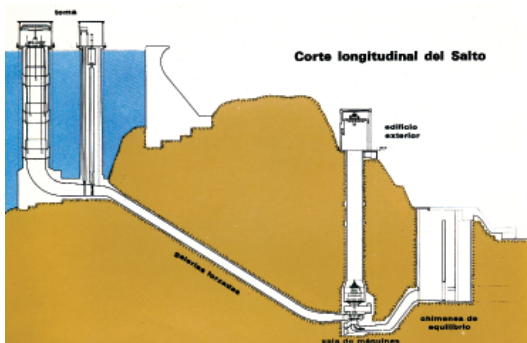
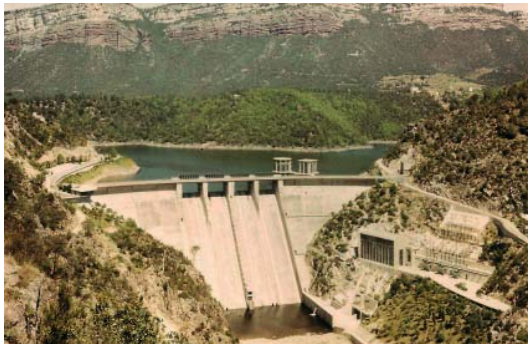
Para la regulación del tramo central entre **Sau** y **el Pastoral**, Saltos del Ter¹⁶ poseía la concesión para la construcción de tres saltos, dos en Querós de 20 y 42m y un tercero en **Susqueda** de 67m. La creciente necesidad de abastecimiento urbano y agrícola exigía una mayor regulación, de carácter hiperanual. Ante la imposibilidad de modificar la presa de Sau, que estaba

13 El embalse útil total del sistema es de 375hm³, con una potencia total instalada de 185.000cv y una producción media anual de 335GWh

14 Boadas, Oliveras, Sunyer, 1987, p. 34

15 Boadas, Oliveras, Sunyer, 1987, pp. 38, 39

16 Las concesiones pasan a manos de Hidroeléctrica de Cataluña tras absorber Saltos del Ter. Rams, 1983, p. 12



en construcción, a mediados de los cincuenta Hidroeléctrica de Cataluña empieza a estudiar la posibilidad de resolver el tramo intermedio con un único salto, que también será beneficioso para la producción hidroeléctrica. La presa final, con 135m de altura superará la suma de la tríada anteriormente prevista, permitiendo una capacidad de embalse de 233hm³.

Un primer tanteo de Pedro Durán en 1954 propone una solución en base a una bóveda de curvatura simple con arcos de espesor constante. Este ejercicio fija la cota de coronación y establece tres posiciones distintas en la misma cerrada, denominadas A, B y C. La tipología en bóveda también se mantendrá en los veinte estudios posteriores:

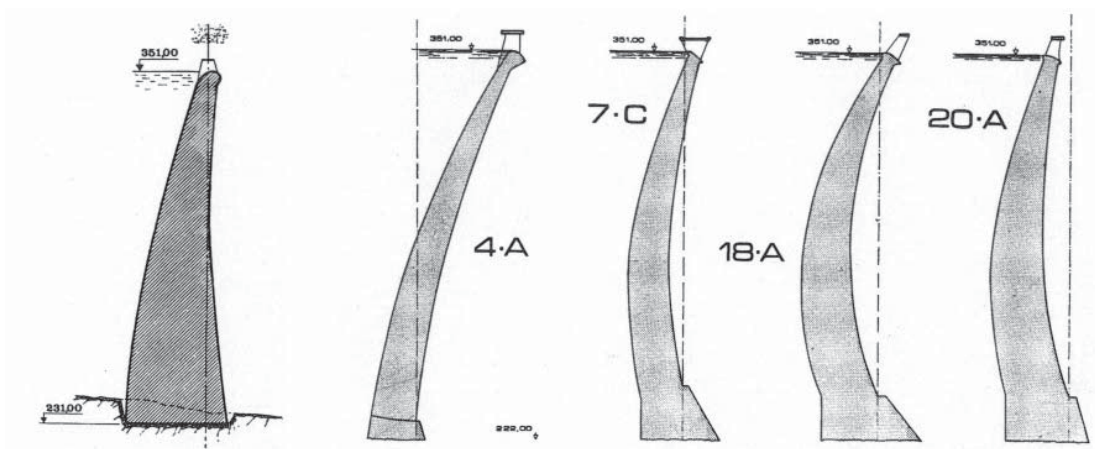
“no solo por permitirlo las condiciones fisiográficas del terreno, sino por ser la solución más económica para su realización y la más segura para su explotación, habida cuenta su capacidad para adaptarse a cualquier tipo de sobrecarga que se le pudiera presentar.”¹⁷

Atendiendo a la experiencia aventajada de Italia en presas bóveda, en 1958 el ingeniero Carlo Semenza recibe el encargo de redactar un estudio preliminar. Presenta cinco soluciones que incorporan una junta perimetral de apoyo y un trazado en doble curvatura, aunque con arcos de centro y radio único. La opción más favorable es la 4-A, caracterizada por su esbeltez y un gran desplome, de unos 50m hacia aguas abajo, como respuesta a la sismicidad de la zona, una de las más altas de España. En 1960 el portugués Joaquim Laginha Serafim prepara otra serie de estudios, siendo el más representativo el 7-C. Abandona la junta perimetral y traza la cáscara con arcos de tres centros para lograr una mejor incidencia en las laderas.

Un año antes, la compañía contrata a un joven ingeniero de 26 años, Arturo Rebollo¹⁸, quién dedicará la primera década de su carrera exclusivamente al salto de **Susqueda**. Lo primero que hace

17 Rebollo Alonso, 1972, pp. 18, 19

18 Arturo Rebollo (1933), posteriormente a la construcción del salto de Susqueda, será director de explotación de presas de Hidroeléctrica de Cataluña. En los años ochenta trabaja como consultor independiente, realizando a lo largo de su carrera unos 300 trabajos profesionales. Será también profesor de Estética en obras de Ingeniería y profesor de Proyectos. En 1996 se le concede la medalla del Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos y en 2012 la Medalla Ildefons Cerdà



Rebollo es complementar su formación para poder afrontar el proyecto con los conocimientos necesarios. Buscará consejo en Luciano Yordi de Carricarte¹⁹, el autor de la primera presa bóveda importante en España y una de las más refinadas, terminada en 1960. La presa de **Eume** se deja sentir en **Susqueda**, compartiendo aspectos como el zócalo de repartición, los estribos de gravedad o el vertido libre por coronación sobre cuenco amortiguador. Los proyectos de Yordi se respaldan en conceptos claros, la búsqueda de formas puras y un conocimiento exhaustivo de las últimas realizaciones europeas, por lo que sus obras son equiparables a las de los países más avanzados, por primera vez en muchos años.

Rebollo también viajará para conocer in situ varias presas bóveda, con especial atención a las recientemente accidentadas **Malpasset** y **Vajont**. Allí comprueba el principal reto al que hacen frente los técnicos, el terreno. La geología siempre ha sido un aspecto de especial interés para el autor de **Susqueda**, convencido que solo con el máximo conocimiento del terreno se puede tener una visión global del problema²⁰. Como él mismo reconoce, es un punto de vista influenciado por el profesor Clemente Sáenz Ridruejo²¹ quien resumía que la geología era el soporte de la historia de los pueblos.

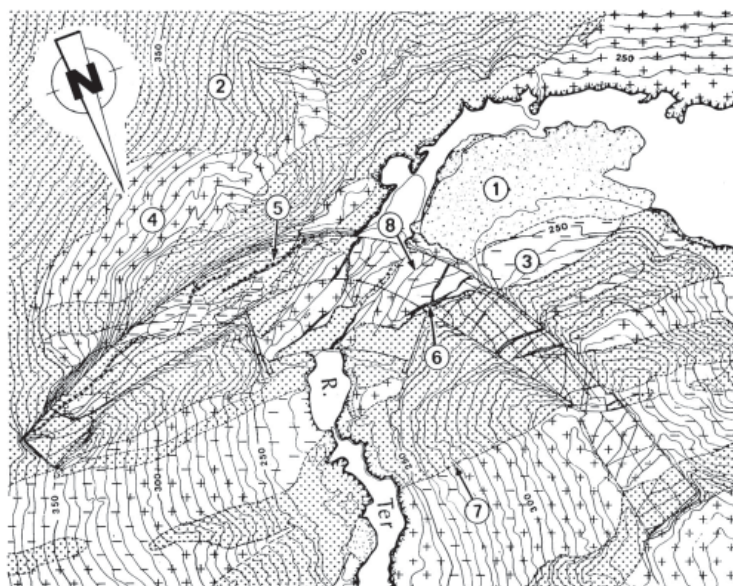
19 *Camins.cat: revista del Col·legi d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Catalunya*, 2012, núm. 28, p. 22

20 *Camins.cat: revista del Col·legi d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Catalunya*, 2012, núm. 28, p. 21

21 Clemente Sáenz Ridruejo (1928-2006) colabora en el campo geológico en más de 200 presas españolas, siendo sus aportaciones determinantes para la elección del emplazamiento concreto, e incluso del tipo, con el objetivo de minimizar las medidas correctoras posteriores. Aguiló Alonso, 2002, p. 22

Perfiles más representativos entre los veinte casos de estudio a partir del tanteo inicial, correspondientes a las propuestas de Pedro Durán Farell, Carlo Semenza, Joaquim Laginha Serafim y Arturo Rebollo

Rebollo Alonso, 1972, pp. 43, 52

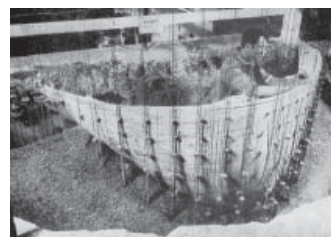
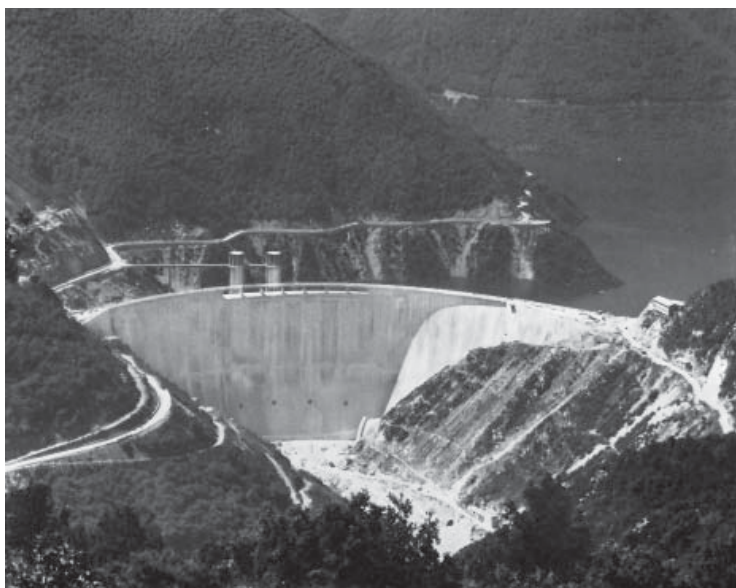


Aunque no lo mencione, Rebollo también debía conocer los problemas derivados del terreno que empieza a evidenciar la presa de **Canelles** en 1959 y que afectan tanto la estanqueidad como la estabilidad. Es la demostración de que un buen diseño de la bóveda no es suficiente para garantizar el éxito de la infraestructura. Normalmente, el proyecto se respaldaba en estudios geológicos a partir de prospecciones puntuales, aunque la composición del terreno no se conocía exactamente hasta la excavación de cimientos y galerías. Empezada la construcción, cualquier desvío de la estimación inicial puede representar grandes operaciones imprevistas como inyecciones, estabilizaciones o anclajes. Esto se traduce en un incremento del coste y el tiempo invertidos, sobradamente mayor al que requeriría un detallado estudio preliminar. Consciente de ello, el estudio geológico centra todo el interés de Rebollo, con más esfuerzo si cabe que el desarrollo de la propia cáscara. La estructura se fabrica en hormigón en masa, un producto manufacturado cuyas propiedades se eligen de antemano. El estudio pormenorizado del terreno, debe aportar los datos suficientes para que su conocimiento sea equiparable al de la cáscara.

A partir de 1961, después de tantear otras soluciones, se acomete una detallada toma de datos antes de determinar la localización y el perfil final. La intensa campaña de reconocimiento incluye levantamientos topográficos a 1/500 de un área que abarca

Plano geológico del emplazamiento incorporando los datos recopilados en las excavaciones, en el que se aprecian las zonas de fractura de la roca

Rebollo Alonso, 1972, p. 123



las tres localizaciones posibles. El proceso incluye el desbrozado, la apertura de zanjas, la perforación de 1.500m de galerías en las laderas y el cauce, junto a múltiples análisis de la roca en laboratorio. Es un proceso de reconocimiento “proyectado”, en el cual se busca la máxima sinergia entre distintas operaciones. Así, se utiliza el túnel de desvío como galería de prospección, o las galerías transversales para inyectar más tarde la pantalla de impermeabilización. El resultado de los estudios se resume en un plano geológico también a escala 1/500, que recoge metro a metro las características petrográficas y tectónicas de la roca. Aunque la calidad de la cerrada es satisfactoria a nivel resistente y de permeabilidad, presenta una compleja composición con múltiples fallas en sentido longitudinal al eje del río que separan bandas de distintas características.²²

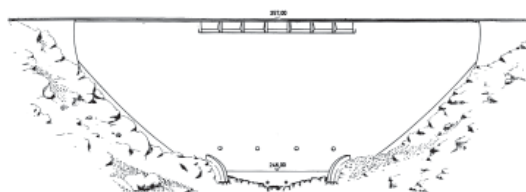
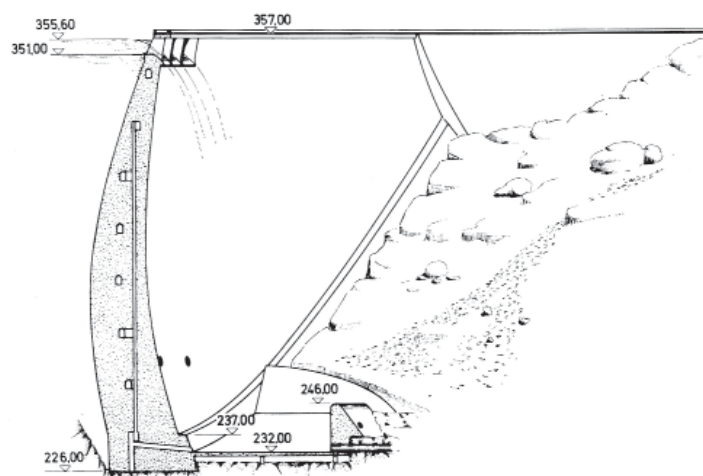
Reconocido exhaustivamente el terreno, se estudia en profundidad la solución 18-A. Si bien el resultado de los cálculos en *Trial Load*²³ son favorables, el ensayo en modelo a escala 1/120 en el

La obra recién terminada junto a los trabajos de encofrado del modelo reducido para el estudio tensional de la bóveda, maqueta de la presa con las tomas de agua y modelo reducido para el estudio del comportamiento hidráulico del aliviadero

Fotografía Brangulí. Rebollo Alonso, 1974, p. 83 / Fotografía Ismes. Rebollo Alonso, 1972, p. 292 / Fotografía Brangulí. Rebollo Alonso, 1974, p. 79 / Fotografía Brangulí, Rebollo Alonso, 1972, p. 81

²² Dioritas, gneis de origen metamórfico y algunos filones de pórfido granítico

²³ Realizada por ajuste de cargas entre 5 arcos y 9 ménsulas en 33 puntos, para el que se utiliza el primer ordenador IBM en Cataluña según el ingeniero Josep Rebollo, uno de los hijos de Arturo Rebollo. Josep añade que “Entonces no había los modelos matemáticos ni la maquinaria actual, por lo tanto no podemos decir que se trate de una presa de gran complejidad. Hoy en día, calcular la construcción de un chalet es mucho más difícil que hacerlo entonces con una presa”. Josep Rebollo. *El Punt Avui*, 1 de noviembre de 2010



Perfil por ménsula central de la solución definitiva, alzado desde aguas abajo y planta general con los puntos de replanteo

Rebollo Alonso, 1972, p. 74 / Rebollo Alonso, 1967, p.

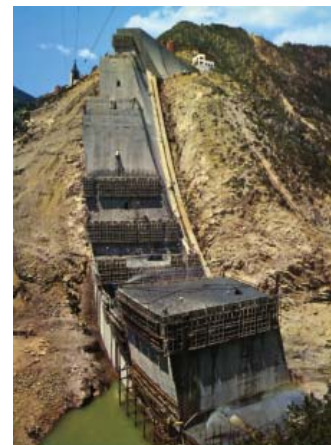
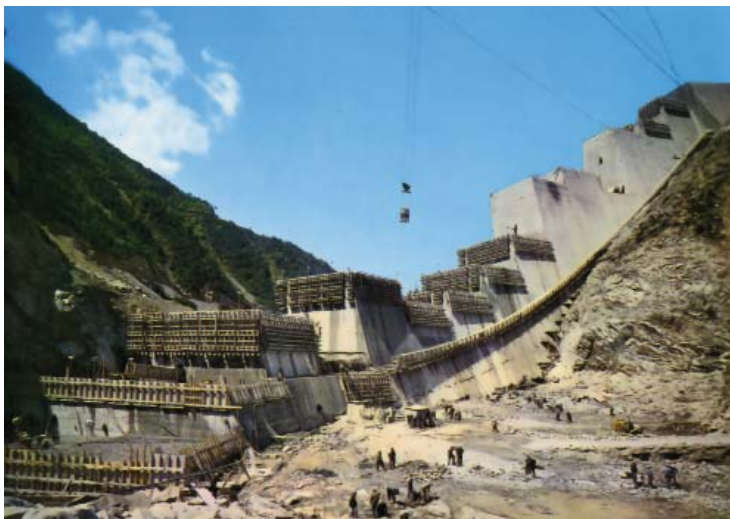
Hormigonado de los bloques en el estribo izquierdo

Fondo Histórico Endesa

Fragmento del perfil de la bóveda con una galería de control y disposición de las canalizaciones de inyección de juntas

Rebollo Alonso, 1972, p. 68



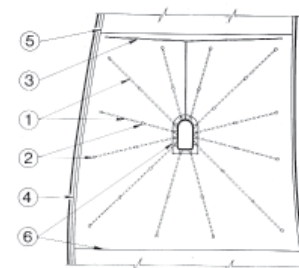


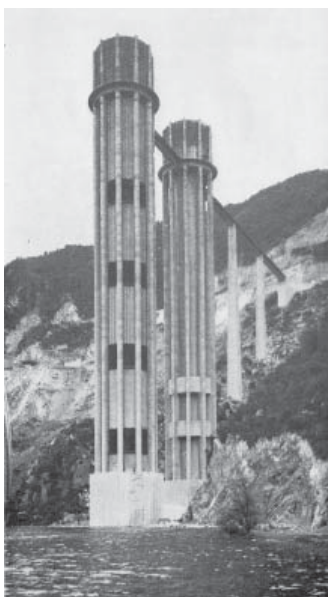
laboratorio portugués evidencia tracciones altas aguas arriba del pie de ménsula central. Para corregir esta situación, la solución final y 20A, reduce el vuelo de presa hasta el límite para permitir el vertido por coronación. El ensayo en modelo final vuelve a evidenciar tracciones que los cálculos no reconocían. Descartadas soluciones de contrafuertes anteriores, como en **Valdecañas**, por “antieconómicas y antiestéticas” se decide reforzar la base con armaduras pasivas y compensar las tracciones con un primer llenado durante la construcción.

Así, la solución final se basa en una bóveda simétrica de doble curvatura, con zócalo de repartición, estribos de gravedad y vertedero libre en coronación. Tiene una altura total sobre cimientos de 135m, una longitud de coronamiento de 352m y espesores de 24,80m en la base y 5m en la coronación. Se utilizan más de 600.000m^3 de hormigón²⁴, lo que representa un ahorro de un millón de metros cúbicos respecto a una presa de gravedad en la misma posición.

Los estudios también plantean la incorporación de puzolanas en el hormigón aprovechando la proximidad de la zona volcánica

²⁴ Las medidas de este tipo de construcciones no parecerán tan abstractas si las comparamos con las de la arquitectura. La longitud de coronación de la presa es similar a la del edificio L'Illa Diagonal de Rafael Moneo y Manuel de Solà-Morales y su altura sobre cimientos es más de dos veces la esquina más alta de dicho edificio. Para un edificio residencial de planta baja y 6 plantas piso que midiera 45m de fachada y 22 de profundidad se emplearían unos 3.400m^3 de hormigón armado. Con los 600.000m^3 de la presa de Susqueda se podría edificar los dos lados de una calle de cuatro kilómetros, por ejemplo la Avenida Diagonal desde la plaza de Les Glòries hasta Francesc Macià





Torres de toma y pasarela de acceso desde la ladera derecha

Coronación con el quitamiedos de hormigón y el sistema de iluminación
Fotografías Brangulí. Rebollo Alonso, 1974, pp. 68, 95

de Olot, aunque por razones ajenas no llega a realizarse. El proceso de hormigonado²⁵ se realiza sin refrigeración, a partir de un detallado calendario en relación con las condiciones meteorológicas. Esta decisión, como la de ejecutar el detallado estudio del terreno, hacen parecer que el ingeniero supo o tuvo la posibilidad liderar el proyecto en todas sus consecuencias, controlando los tempos, por encima de los rápidos resultados que en muchos casos exige el promotor. Arturo Rebollo, parte de los estudios de Serafim y Semenza pero no deja nada por supuesto, extendiendo el proceso de diseño desde 1954 hasta 1963. El intenso trabajo durante nueve años de estudios tienen su contrapartida en una obra relativamente rápida, ejecutada entre la primavera de 1963 y 1968²⁶, y sin problemas posteriores.

Es un caso raro en el que una sola persona capitanea todo el proceso, la toma de datos, el tanteo de alternativas, el cálculo, y la ejecución de la obra hasta los últimos detalles. Miguel Aguiló no duda en calificar **Susqueda** como una presa “de autor”²⁷, y no es para menos. El conjunto formado por bóveda, torres de toma de agua, edificios auxiliares, central, puentes y vías de acceso, posee una gran unidad formal que supera la estricta funcionalidad requerida para este tipo de obras. Pero el ejercicio va más allá de la voluntad estética en si misma; parte de una comprensión global de la tríada terreno-presa-agua, donde las estructuras son el resultado explícito de la transmisión de las fuerzas vivas de la naturaleza. Todos los elementos de la explotación beben de un planteamiento conceptual común, diseñándose en base a estructuras laminares y esbeltas, como eco del paramento principal en cáscara de huevo. La claridad también se nutre del repertorio de material empleado: todo hormigón, desde la presa hasta el quitamiedos de la carretera.

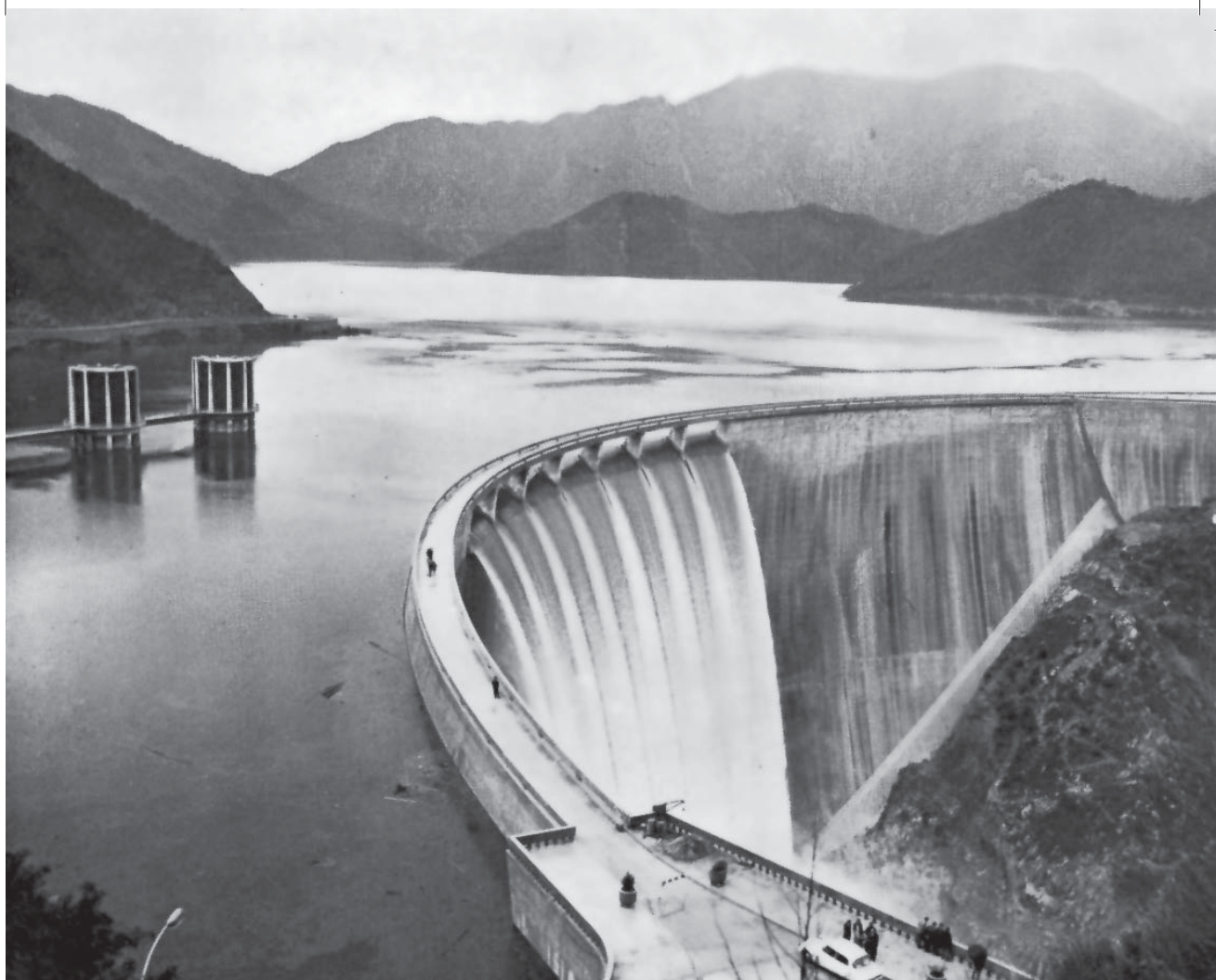
“Él entiende el lenguaje en que la presa y la naturaleza circundante manifiestan aquí su vida mecánica, físico-química, y añade, retoca, mejora aquí y allá, y fomenta, como buen criador, el progreso de su obra hacia la existencia supra-material, telúrica.”²⁸

25 El llenado de juntas entre bloques se inyecta desde las galerías interiores a través de un sistema de tuberías de distribución radial

26 No obstante, la central entra en servicio en 1967

27 Aguiló Alonso, 2002, p. 258

28 José Torán. Rebollo Alonso, 1972, p. V



El mismo concepto aplicado en distintas estructuras posee una clara voluntad pedagógica, es una manera de facilitar la comprensión del funcionamiento de la bóveda y compartir el conocimiento. No es de extrañar que sea un conjunto de interés, no solo para ingenieros y arquitectos, sino para los visitantes que tienen el privilegio de conocerla. “¡Felicitá a tu arquitecto!”²⁹, comentaba la gente a Rebollo terminada la obra. En realidad, lo había pensado todo él solo. Acto seguido cursó estudios de arquitectura, a los que sumaría más adelante ciencias geológicas, historia del arte, antropología, filosofía, estética e ingeniería geológica, hasta siete títulos.

El cariño puesto por el autor en su obra se hace explícito también en los numerosos artículos y el par de libros que publica.

²⁹ *Camins.cat: revista del Col·legi d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Catalunya*, 2012, núm. 28, p. 21

“La presa vertiendo por el aliviadero de 7 vanos. Cual otro gran monstruo apocalíptico, su concepción representa un ferviente homenaje a Ende y Emeterio”

Fotografía Sanz. Rebollo Alonso, 1974, p. 78



Lectura de un péndulo de auscultación

Fotografía Raluy. Rebollo Alonso, 1974, p. 275

Como prologuista de *La presa bóveda de Susqueda* de 1972, José Torán no duda en calificarla como “la monografía más importante en materia de grandes presas, jamás publicada en España”³⁰, motivada entre otros aspectos por la “ternura ante la propia obra”. Fe de ello, es que Rebollo no se desentendió de la presa una vez inaugurada. En un ejercicio de rigor y transparencia, se ocupa personalmente de evaluar y publicar el comportamiento durante los veinticinco años de vida. La estructura está dotada de un complejo sistema formado por 800 puntos de auscultación que registran el más mínimo movimiento. Avanzándose también a su tiempo, Rebollo comprende que la pretendida perennidad de una obra hidráulica depende de un seguimiento exquisito de su comportamiento.

Siete grandes ojos recortados en la coronación de la bóveda, con una longitud total de 130m, permiten evacuar un caudal máximo de 2.800m³/s, jamás superado en presas bóveda españolas³¹. El vertido por coronación también es una de las invariantes de todas las alternativas estudiadas, atendiendo al uso de bóveda, las condiciones morfológicas y geológicas de la cerrada y el generoso caudal. Por este motivo, el proceso de desplome del paramento hacia aguas arriba para limitar las tracciones estaba condicionado a mantener separada del pie de presa la caída de la lámina de agua.

El estudio en modelo del comportamiento hidráulico³² aconseja alargar las pilas entre vanos del aliviadero hasta el borde de la base en perfil Creager. De esta forma se garantiza la aireación de la lámina vertiente, evitando su rotura. Así mismo, se dispone un cuenco amortiguador en la base capaz de retener un colchón de agua que disipa la energía, protegiendo de la erosión el pie de presa y el lecho de río. Queda confinado por el mismo pie, dos muros laterales y un dique arqueado, con una losa pretensada formando la base. Aquí también confluye el agua de los cuatro desagües de fondo de 1,5m de diámetro y de sección abocinada que garantizan el caudal mínimo.³³

30 José Torán. Rebollo Alonso, 1972, p. V

31 El caudal específico, también récord, es de 24m³/sm Los caudales vertidos por coronación en las siguientes presas bóvedas difícilmente alcanzarán los 1.000m³/s. Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 817

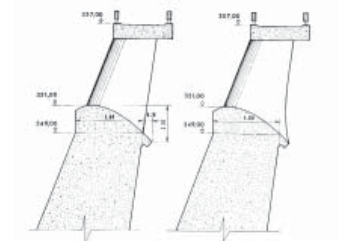
32 Conjunto estudiado en modelo en el laboratorio que la Confederación Hidrográfica del Pirineo Oriental instala en Sau

33 Sustituidas recientemente



El cuerpo de la presa está perforado por 4.000m de galerías repartidas en 7 arcos horizontales y uno resiguiendo el basamento, comunicadas por un ascensor en el estribo derecho. Su función es permitir el control de la presa y drenar las escorrentías. A diferencia de **Canelles** o **Eume**, aquí el paramento queda libre de pasarelas, adquiriendo las bocas del aliviadero todo el protagonismo. Es otra decisión que responde a la idea de un diseño compacto a la vez que esbelto. El mismo elemento resistente agrupa desagües de fondo y aliviadero, reduciendo el coste de la obra y consiguiendo una cáscara precisa. El recorte de los siete ojos evidencia la delgadez del lienzo. Es un aspecto que también se repite en **Eume** dando lugar a un episodio singular; la vía de coronación interrumpida junto a la presencia de las pilas a modo de deflectores como si esperaran recibirla constituye el centro de interés compositivo de la bóveda. Es como si la presa diera un meditado paso atrás, un acto de respeto y reverencia a la razón de su existencia, el agua.

Precisamente, la disposición de un aliviadero de caída libre en la parte central de la coronación de la presa elimina las tensiones contra las laderas de los últimos seis metros del muro permaneciendo solamente los empujes producidos por eventuales sobreelevaciones de la lámina de agua. Macizar los estribos con hormigón en masa hubiera supuesto un malbaratamiento de material y consecuentemente un encarecimiento significativo de la obra, aunque aportase cargas verticales beneficiosas para contrarrestar las tracciones en el pie de presa. La solución más “lógica” y barata

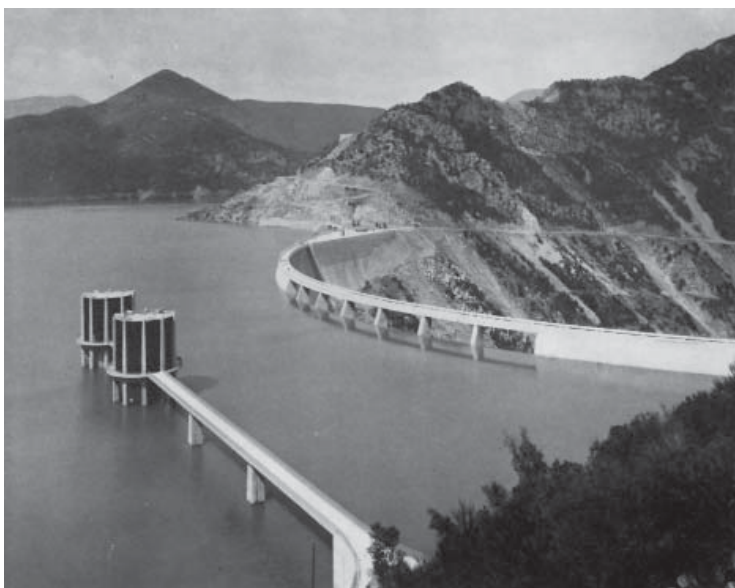


Cambios inducidos para la aireación de la lámina vertiente a partir de la modificación del perfil de las pilas
Fotografía León. Rebollo Alonso, 1974, p. 93 / Rebollo Alonso, 1972, p. 82 / Fotografía Sanz. Rebollo Alonso, 1972, p. 167



era construir una caja rígida formada por un muro perimetral y un techo empotrado que distribuyese los empujes del agua y las cargas de rodadura superiores. Aquí, Rebollo toma una decisión fundamental: en vez de rellenar el vacío con residuos de obra, se liberan dos grandes espacios interiores.

Desconocemos hasta que punto esta decisión, un 30% más cara, respondía al clima de desconfianza que la cáscara de huevo suscitaba ante administraciones y población local. Como hemos visto, no era la presa la que se ponía en duda, sino la tipología elegida. A ojos de los afectados, era una forma de construir desconocida, sin antecedentes que avalaran su seguridad y aparentemente frágil. Ante tal “incomprensión” se debía acercar la obra al gran público para explicar los principios de su funcionamiento. El ingeniero, convencido de la necesidad de transmitir el razonamiento lógico y tecnológico de la gran bóveda de 135m, se propone preparar el camino cognitivo del visitante a través de obras menores complementarias. Aguardando la idea de conjunto, se tratan con sumo cariño las distintas partes de la explotación poniendo especial énfasis en conseguir estructuras “leíbles” por público no especializado. Se procura minimizar las secciones de todos los elementos alcanzando una gran esbeltez y refinada proporción. Así se diseñan elementos como los puentes de acceso o las torres de toma de agua y los espacios interiores de



la central hidroeléctrica o los estribos de la presa. Según Arturo Rebollo, la singular sala que acoge el estribo izquierdo representa

“un brindis para aquellos que no comprendieron y para aquellos que no quisieron comprender y prefirieron apoyarse en la sinrazón, acogiéndose a la oscura inmunidad que ofrecen siempre las situaciones demagógicas.”³⁴

Las presas de gravedad contrarrestan el empuje del agua con su propia masa. Las presas bóveda, en cambio, basan su resistencia en la forma de un elemento laminar doblado con una o más curvaturas, ahorrando material y consiguiendo lienzos más delgados. ¿Pero cómo hacer que un espacio interior transmita la idea del funcionamiento estructural de la presa bóveda? Los dos trapecios que conforman los estribos en su parte superior, de 48 y 93m de longitud, se cercan previamente con un muro de hormigón en masa de 2,5m de grosor y 6m de altura para garantizar la estabilidad a empujes eventuales de agua y permitir el empotramiento de la cubierta rodada. El gran interés de estas dos salas interiores reside en que los elementos estructurales son al mismo tiempo los responsables de la configuración del espacio y

La presa desde aguas arriba durante un vertido

Fondo Histórico Endesa / Fotografía Brangulí. Rebollo Alonso, 1974, p. 91

34 Rebollo Alonso, 1967, p. 97

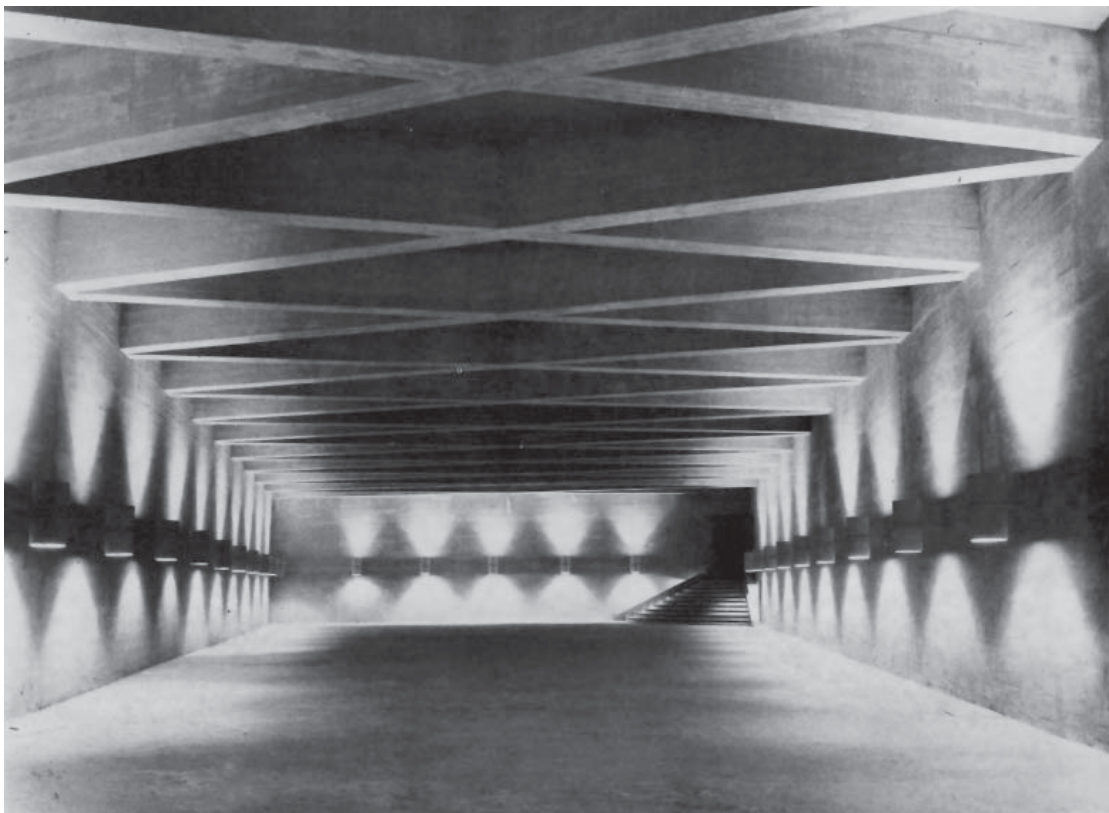
de su caracterización. Su diseño hace referencia a la presa bóveda en la medida que está concebido en base al doblado de delgadas láminas de hormigón armado para aumentar su inercia, ayudándose de la tecnología del pretensado.

Arrimado en la ladera derecha, justo en el cruce de la carretera de acceso con la vía que corona la presa, se alza un edificio de control, construido en hormigón armado, que acoge la escalera de penetración a la sala del estribo derecho. Faltando aún la mitad del descenso, la escalera entra por la esquina aguas arriba de la sala, desparramándose dentro de ella. Es una configuración que recuerda a uno de los espacios urbanos más significativos de Barcelona, la plaza del Rei. Preside la esquina opuesta a la entrada de la plaza, una escalinata en esquina a los pies de un gran arco que resguarda las puertas al salón del Tinell y la capilla de Santa Anna.

La sección de la presa tiene una presencia explícita, recorriéndose en el muro del fondo que emboca la galería de registro superior. Como en la plaza del Rei, los puntos de máxima tensión se sitúan en extremos opuestos. Solo faltaría desproveer de techo a la sala de **Susqueda**, para que las torres de toma sobresaliendo encima la coronación adquirieran un papel compositivo similar al de la torre del palacio del Lloctinent.

Dos elementos caracterizan el espacio de planta trapezoidal en el estribo de la presa: la estructura del techo y la iluminación artificial. Aquella se resuelve con vigas entrecruzadas, adaptadas perfectamente a la geometría de la planta, como si aquí la lámina de hormigón se hubiese estriado generando un *deployé*. Por otro lado, unos cilindros de fibrocemento alineados sobre el eje de simetría horizontal del perímetro de la sala proyectan sobre las paredes una ritmada repetición de conos de luz. La percepción simultánea del entramado del techo, los conos de luz en las paredes, la multitud de sombras en abanico que proyecta cada viga, la variabilidad de la fuga en un espacio trapezoidal, junto con la componente de movimiento vertical inducida por la entrada en descenso, convierten esta sala, aparentemente simple, en un espacio altamente vibrante y dinámico. Por si fuera poco, la condensación se ha ocupado de reproducir sutilmente el trazado de la estructura de la cubierta en el pavimento.

Es un éxito proyectual la consecución de tal riqueza perceptiva manipulando solamente estructura y luz, sin ningún elemento



yuxtapuesto. Todo es hormigón y todo es estructura, nada más. Este trabajo en un solo material también es común con la plaza de Rei, donde todo está resuelto en piedra de Montjuïc, desde el pavimento hasta las cornisas. Hasta se podría considerar un espacio definido principalmente por una estructura, los importantes contrafuertes que caracterizan las fachadas del palacio y la capilla.

Para evidenciar esta virtud, basta comparar el espacio comentado con la sala de turbinas de la central hidroeléctrica³⁵, ubicada dentro la montaña cuatro kilómetros aguas abajo. La entrada se efectúa a través de un túnel de 200m, ligeramente curvado y en descenso, tangente a uno de los lados menores. La vía de acceso está fuertemente caracterizada por el sistema de iluminación lineal e indirecto, instalado a ambos lados tras un tablón a un tercio de la altura. Preside la central un altílo acristalado en el

35 Esta sala mide unos 50x20m en planta y 30m en altura compartimentados en dos plantas

Sala en el estribo derecho con la escalera de acceso en una de las esquinas

Fotografía Brangulí. Rebollo Alonso, 1974, p. 102



Edificio de superficie de la central hidroeléctrica, puente de acceso desde la carretera y salida de líneas

Túnel de acceso a la central subterránea

Sala de excitatrices y nivel de alternadores de la central hidroeléctrica

Fondo Histórico Endesa



fondo desde donde se controlan las dos turbinas³⁶ y el resto de equipos. Aquí también reconocemos algunos de los recursos con los que Arturo Rebollo caracteriza todas las partes del conjunto de **Susqueda**; los pilares en hormigón armado que soportan el carril del puente grúa se transforman un conjunto de delgadas piezas encadenadas. Esta estructura se separa de las paredes, permitiendo alojar una iluminación indirecta que colabora a desmaterializar los puntos de apoyo. La estructura recuerda una gran guirnalda de papel que recorre las dos caras principales. Encima, el puente grúa permanece en situación de ingravidez, flotando cerca del techo. Pero la sala se acaba con todo tipo de revestimientos que contaminan la esencialidad virtuosa de los espacios en los estribos. Esto evidencia hasta que punto el papel de los acabados es determinante en el carácter de un espacio. Las paredes se revisten con una chapa grecada lacada, el techo con un cielo raso de elementos plegados y la cristalería de la sala de control se enmarca con figuras alusivas a la construcción de la presa.

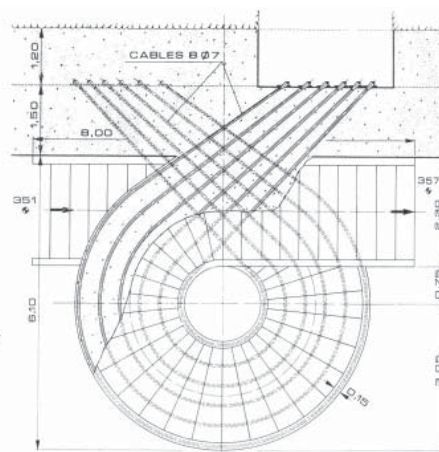
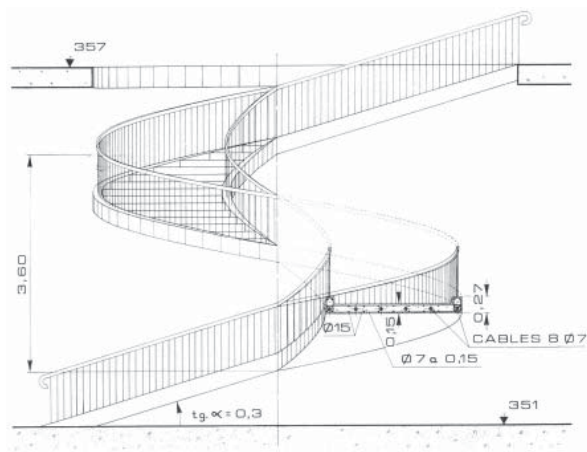
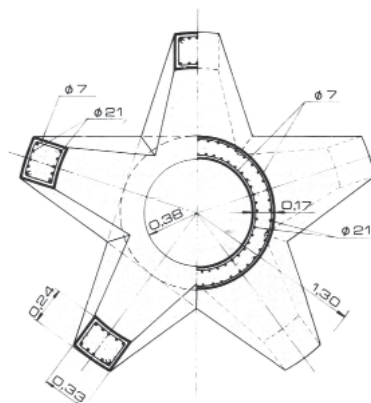
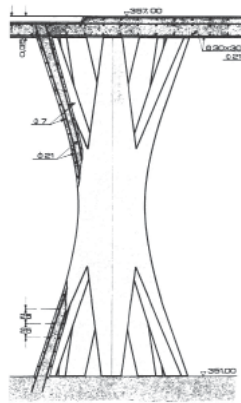
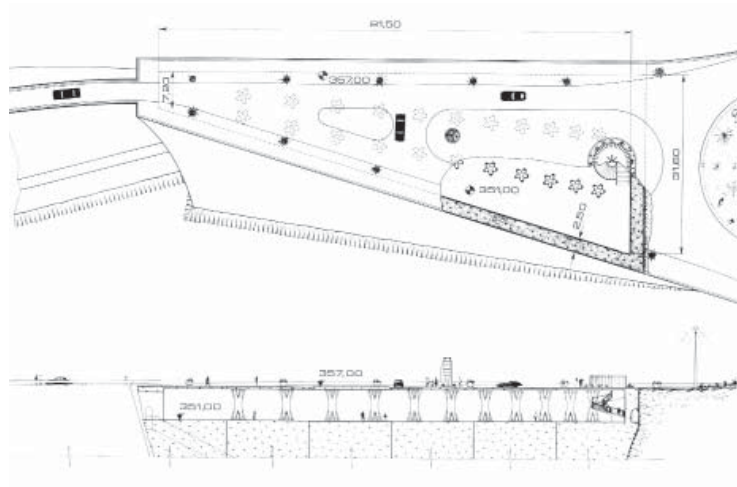
El clímax perceptivo experimentado en el espacio del estribo derecho aún se supera cuando se visita la sala que ocupa el brazo opuesto. Este volumen de unos 10.000m³ tiene una planta de casi

³⁶ Las dos turbinas tipo Francis tienen una potencia de 102.800cv y producen unos 180GWh de media anual



el doble de superficie, pero también de forma trapezoidal. Las bases miden 12 y 36m y están separadas unos 90m. Como respuesta al incremento de anchura se divide la luz en tres vanos. La cubierta se empotra sobre los muros perimetrales y está formada por seis losas planas de hormigón armado de 25cm de grosor, coincidentes con los bloques de hormigonado de la presa. En los puntos de máxima sollicitación a esfuerzo cortante aumentan hasta 35cm, y en un esfuerzo de máxima pureza estructural el recrecido coincide con las aceras laterales y la mediana central de la vía superior. Un tambor acristalado, tangente al centro de la base ancha, permite la entrada de luz y aloja la escalera helicoidal de acceso. Esta y el conjunto de pilares hiperbólicos se concebirán como elementos laminares, tomando el relevo del entramado de vigas de la otra sala y del soporte del puente grúa de la central para mantener presente el concepto de la presa bóveda.

Los pilares se disponen en dos filas en V, sobre los radios que dividen en tres partes iguales el ángulo agudo formado los dos costados largos del trapecio. Con el objetivo de conseguir un reparto uniforme de las cargas, manteniendo siempre la misma sección de pilar, el intervalo entre estos se intensifica en relación al aumento de luz. Se elige el pilar en hiperboloide de revolución respondiendo al concepto de superficie pura, que se apunta más arriba, y también por la capacidad de repartir lo más





homogéneamente sus esfuerzos evitando el riesgo de punzonamiento de las finas losas de la cubierta. Estos hiperboloides son huecos y se abren en cinco vanos en los extremos superior e inferior siguiendo líneas de reglado. Esto permite equilibrar el trabajo de las secciones horizontales y alojar discretamente unos puntos de luz en el interior. Otra vez, esta luz diluye las aristas interiores de las patas del hiperboloide y acentúa las exteriores para potenciar la superficialidad de los pilares. Curiosamente la forma y el ritmo de los pilares ya nos había sido anticipada por la forma en que se proyecta la luz sobre la paredes del espacio en estribo derecho.

Del recorte circular en el techo de la sala se desploma la escalera helicoidal que permite un descenso de 6m en bucle libre de 360°. Es intrigante observar como se proyecta a la sala en voladizo sin ningún pilar sustentante. Su estabilidad, calculada para una sobrecarga de 500kg/m^2 previendo la posibilidad de ingreso de piezas pesadas, se confía al empotramiento con el muro colindante. Para construirla se recurre al pretensado de

Planta y sección longitudinal de la sala hipóstila en el estribo izquierdo

Detalles de un pilar y de la escalera helicoidal de acceso en hormigón pretensado

Rebollo Alonso, 1969, pp. 95, 98

Pilares recién desencofrados

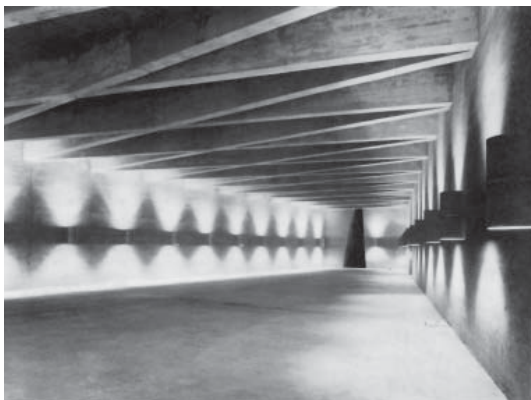
Fotografía del Sr. Calixto, operario en la construcción de Susqueda. *Diari de Girona*, 29 de noviembre de 2009



seis cables dentro de vainas de plástico que se inyectan después del descimbrado y cuyo registro es posible gracias a un galería inserta en el muro. La losa de la escalera incluye dos patillas laterales que a modo de zanquín se encargan de ocultar el perfil de los peldaños. Así se consigue una superficie más abstracta y se esconde el único elemento doméstico o de escala humana que existe en el interior del espacio.

Precisamente una de las características de las dos salas es la falta de referencia o escala. En una foto es muy difícil determinar las medidas generales para poder saber, por ejemplo, si pasaría una persona por debajo los pilares. El visitante también lo tiene difícil porque a la aescalaridad del espacio, se suman las distorsiones perspectivas que genera la planta trapezoidal y el ritmo variable de los pilares. Desde la entrada, esta se percibe hiperfugada por la convergencia de sus muros laterales y de las alineaciones de pilares. Las filas de soportes enmarcan al fondo el acceso a una de las galerías de la presa, recorte en negativo de su sección. La mirada en el otro sentido, desde la penumbra, se focaliza en la escalera que intensamente iluminada por el gran hueco cilíndrico se percibe como un recorte de papel. La flanquean dos filas de

Escalera de acceso y entrada de luz natural al interior de la sala
Fotografía Raluy. Rebollo Alonso, 1974, p. 107



pilares aparentemente paralelas, aunque la intensificación de su secuencia pudiera hacer pensar lo contrario. La lámina helicoidal de la escalera genera un movimiento centrífugo correspondido por la propia forma de los pilares hiperbólicos que reciben al visitante con una entrada triunfal.

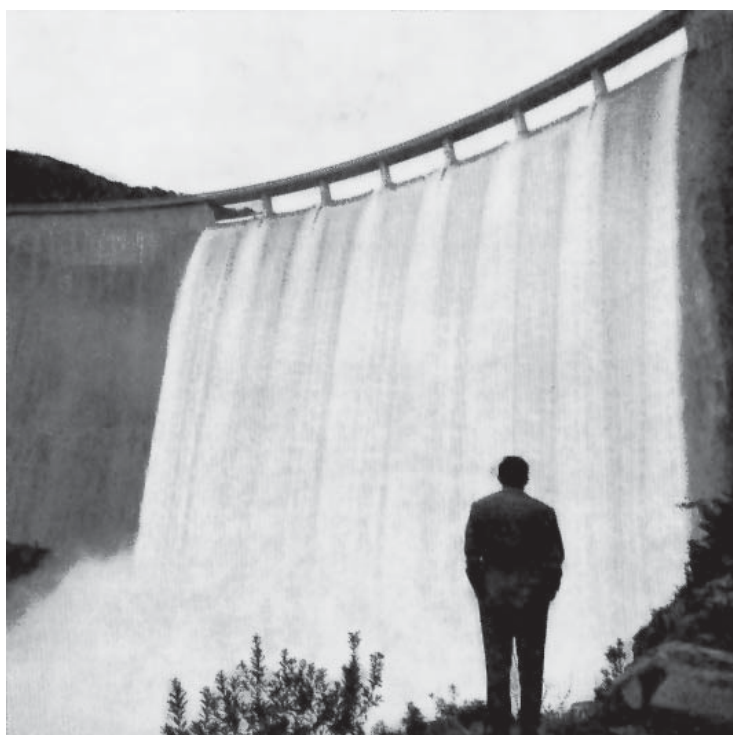
Otro aspecto común en ambos espacios es la simetría especular. Un hipotético plano horizontal a mitad de la altura coincide con el eje de las luminarias de una sala y la corona de menor diámetro de los pilares de la otra. Este recurso también contribuye a desdibujar la escala pero sobretodo altera la orientación y hasta la percepción del estado de la materia. ¿Estamos frente un depósito lleno de agua?

Extendiendo la analogía con la plaza del Rei, el espacio del estribo izquierdo sería al derecho lo que el salón del Tinell es al espacio público. Con la disposición precisa de los elementos esenciales, contruidos en un único material, y la colaboración de la luz, las entrañas de **Susqueda** nos brindan uno de los espacios civiles más ricos de nuestro país.

Es un magnífico ejemplo de arquitectura, en el que se respira hasta las últimas consecuencias el cariño del proyectista. Lejos de lo que podría parecer, el papel de las salas es crucial en el funcionamiento de la presa, de tal importancia que trasciende la infraestructura para incidir directamente en el patrimonio social y cultural. Constituyen una ventana al conocimiento, una puerta de entrada a la comprensión de la temida cáscara de huevo y a una forma de proyectar con piedra, papel y tijeras.

Falsa perspectiva y simetría especular por la geometría de los estribos, los elementos estructurales y la iluminación

Fotografías Raluy. Rebollo Alonso, 1974, pp. 102, 110



Fotografía Sanz. Rebollo Alonso, 1972,
p. 218

Apilar

Tous I y II

La prodigiosa tendencia hacia la ligereza en las presas que surgió en los años treinta, transformando en láminas de mínimos espesores lo que siempre fueron grandes volúmenes de hormigón frente al agua, fue, pues, aplastada por el imperio de la uniformidad y el precio. Los medios técnicos tienden en las presas a ser cada vez mayores, casi ilimitados, lo que empobrece paradójicamente las posibilidades técnicas y estéticas. Incluso ya han desaparecido prácticamente las presas de contrafuertes.

José Antonio Fernández Ordóñez¹

El polémico proyecto para la ampliación del embalse de **Yesa** plantea un recrecimiento de la presa existente de 31,5m, alcanzando los 108,0m. Con este incremento de altura², de menos de la mitad, se duplica sobradamente el volumen de agua reservable, desde los 447hm³ actuales hasta los 1.079hm³. El diseño previsto se basa en un dique de materiales sueltos apoyado aguas abajo de la estructura actual, a dos tercios de su altura.

El perfil de la propuesta ejemplifica a la perfección la preocupación de José Antonio Fernández Ordóñez respecto al abandono del camino hacia la ligereza. Una presa de gravedad como la existente, comparada con las presas bóveda o incluso las de contrafuertes, es un tipo poco eficiente por lo que a la cantidad de material empleado se refiere. Sin embargo, su perfil es finísimo comparado con el paramento de recrecimiento en base a materiales sueltos.

La coronación se alarga discretamente de los 398m actuales hasta los 430m, con lo que el aumento de volumen construido

¹ “Lo ligero y lo barroco en la ingeniería de los años treinta”. Texto para una conferencia impartida en la Universidad de Verano de Santander en 1983, conservado en el archivo de José Ramón Navarro Vera. Fernández Ordóñez, 2009, p. 369

² La altura prevista inicialmente de 116,7m, triplicando el volumen de embalse, se redujo a fin de no inundar el pueblo de Sigüés. Lafuente Dios [et al.], 2007, p. 132



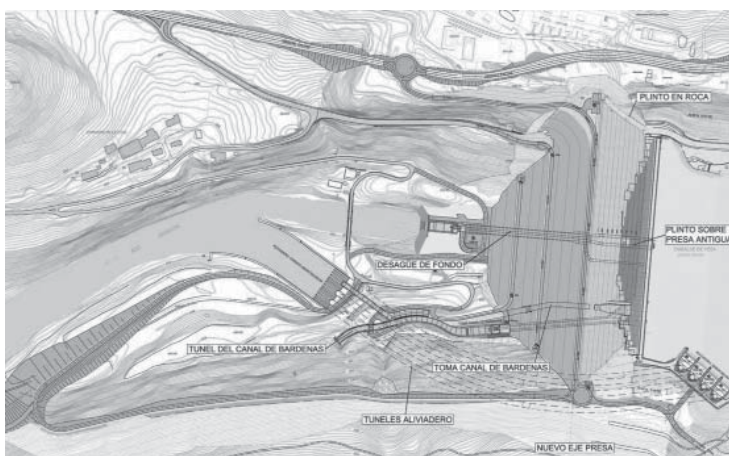
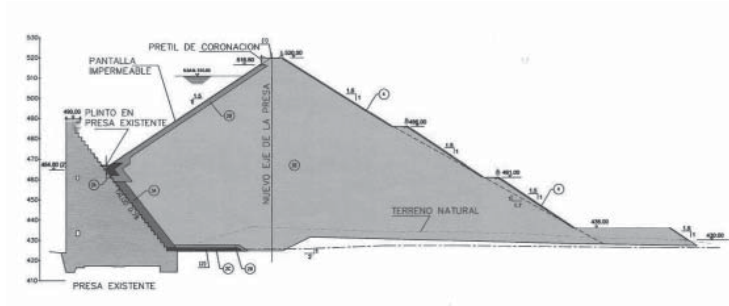
Trabajos de excavación y estabilización de la ladera derecha
Parlamento de Navarra

no es atribuible a la apertura de la cerrada sino al tipo elegido. A los 480.000m³ de hormigón actuales, se le añaden 3.377.000m³, lo que significa multiplicar por siete la cantidad de material empleado. La anchura superior aumenta ligeramente de los 7m hasta los 10,55m pero el espesor en la base pasa de poco más de 50m hasta superar sobradamente los 300m. La presa original tiene un paramento de hormigón, vertical aguas arriba y escalonado aguas abajo, con una inclinación de 0,78. Los perfiles de la nueva estructura son más tendidos, con un talud yuso de 1,7 que incluye dos bermas y otro suso de 1,5. Sobre esta última cara se dispone una pantalla impermeable de hormigón armado de 30cm de grosor. Requiere un análisis detallado la junta entre esta pantalla y el cuerpo de la presa existente³, puesto que es el punto más sensible a las deformaciones y podría comprometer la estanqueidad de la presa.

Yesa se encuentra en un lugar clave, en el extremo occidental de la depresión pirenaica del Canal de Berdún. Esta es la última cerrada represable por la que discurre el río Aragón que conduce agua del deshielo hasta el Ebro. Las características orográficas del valle permiten además una notable capacidad de embalse con una altura discreta de presa. Aparte de laminar avenidas, desde aquí se alimentan 80.000 hectáreas de regadío de las Bárdenas y se suministra agua al área urbana de Zaragoza con más de 800.000 habitantes.

La cerrada idónea, desde el punto de vista estratégico, no siempre coincide con una buena estructura geológica para la cimentación de una presa. Los estudios para el aprovechamiento del río Aragón se remontan al siglo XV, pero es el *Plan Nacional de Obras Hidráulicas* de 1902, que propone una explotación conjunta de varios ríos y canales, en el que figura la presa de **Yesa**. El primer proyecto data de 1912, aunque las obras no empiezan hasta 1928. Tras sucesivas interrupciones, el embalse queda inaugurado en 1959. Parte del retraso en la construcción proviene de los continuos deslizamientos en ambas laderas y de las dificultades de cimentación. El cauce fluvial divide dos sustratos de composición y resistencia diferente, bajo un grosor variable de suelos aluviales

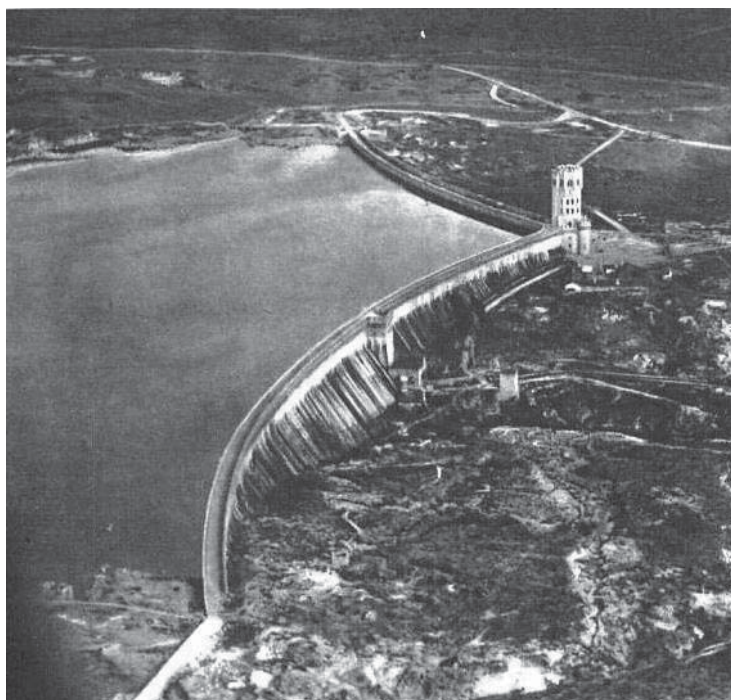
3 La junta perimetral pantalla-plinto sobre la presa actual consta de una junta de cobre, material erosionable inerte en el interior con lámina de neopreno y material erosionable inerte en el espacio entre ambas estructuras, cubierto de un metro de material limo-arcilloso. Lafuente Dios [et al.], 2007, p. 138



y coluviales. En la parte derecha, margas grises, y a la izquierda, el flysch de Yesa formado por alternancia de areniscas y margas. Además, la roca en los estribos presenta un avanzado estado de meteorización que alcanza profundidades de hasta 30m.

El proyecto de recrecimiento debe mantener o mejorar las condiciones de seguridad de la presa actual y garantizar el suministro durante las obras. Estudiadas distintas tipologías y emplazamientos -todos caracterizados por la misma estructura geológica- se elige levantar con materiales sueltos una estructura apoyada sobre la existente⁴. Este tipo de presa, de mayor base y menor densidad que una de hormigón, transmite menores cargas puntuales a los cimientos y tiene más capacidad de adaptarse a deformaciones locales. Las presas de gravedad, especialmente los bloques centrales en cuerpos de gran longitud, son más sensibles a los problemas de cimentación. De hecho, **Yesa** se apoya

4 Siguiendo el ejemplo del recrecimiento de la presa New Exchequer en el río Merced, Estados Unidos. Lafuente Dios [et al.], 2007, p. 129



parcialmente sobre margas de una resistencia a compresión de 100kg/cm^2 y un módulo de elasticidad de 15.000kg/cm^2 , un caso sin precedentes en España para presas de hormigón superiores a los 120m de altura a parte de los bloques centrales de **El Grado**.⁵

Un recrecimiento de gravedad presentaría mayores dificultades para conseguir una transmisión de esfuerzos entre ambas estructuras y comportaría el vaciado del embalse para garantizar la estabilidad de la presa durante los trabajos de cimentación. La opción finalmente elegida es la de menor coste por partida doble; el tipo de materiales sueltos es más económico que el de gravedad y frente a una nueva presa aguas abajo, el recrecimiento aprovecha el cierre hidráulico de la actual y gran parte de los órganos de desagüe.

La primera piedra se coloca en 2001, casi veinte años después de la redacción del proyecto inicial. Los trabajos en el cuerpo de la presa empiezan en octubre de 2014, tras una década de fuerte oposición de vecinos y entidades organizados alrededor de la plataforma *Yesa No* y sucesivos deslizamientos que han comportado

⁵ Lafuente Dios [et al.], 2007, p. 136



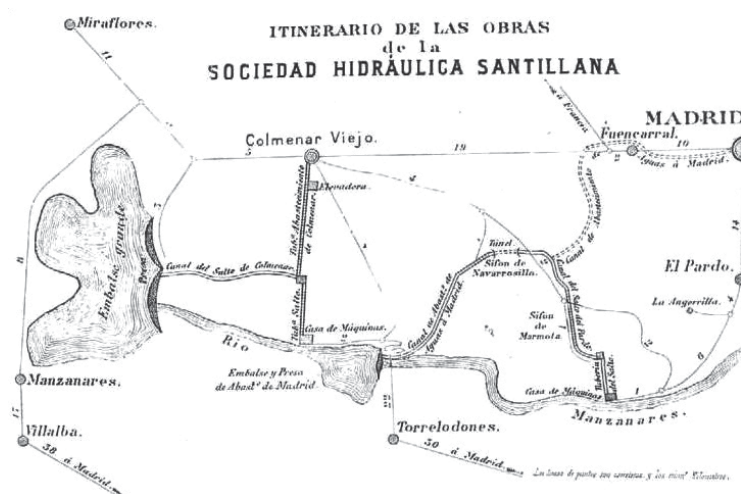
una inversión de 25 millones de euros en el ejercicio 2013-14 para la estabilización de laderas y la expropiación de 103 viviendas en dos urbanizaciones.⁶

Su Majestad el Rey Alfonso XIII visita en 1908 el progreso de las obras de la presa de Santillana -hoy **Manzanares el Real**- en el río Manzanares. Joaquín de Arteaga y Echagüe, marqués de Santillana, duque del Infantado y presidente de la compañía Hidráulica Santillana fue el promotor de esta obra, un embalse de cabecera que regula tres saltos de agua. Constituye con ello la primera red eléctrica madrileña de fuente hidroeléctrica y garantiza el suministro de agua a la zona alta de la capital.

La presa, de gravedad con mampostería de granito, se desarrolla en dos tramos de traza arqueada, y hasta 28m de altura, que convergen en un espaldón central. En el punto de unión se levanta la torre de toma, de planta octogonal y 35m de altura, que articula ambas partes y contrapone su verticalidad al largo coronamiento horizontal y a la planicidad del embalse. Se accede a ella desde una portalada en el paramento aguas abajo. Es un proyecto

Vista general de la presa de gravedad y la presa de escollera de Santillana
Colección Jesús Guerra Esetena / Gómez Pérez, 2014, pp. 126, 127

6 Sánchez Lanaspá, Sergio. "¿Hay riesgo en Yesa?". *El Mundo de los Pirineos*, 2015, núm. 103



de los ingenieros Antonio González Echarte, Carlos Mendoza y Alfredo Moreno, con los que colabora el arquitecto Vicente Lampérez. Este último califica la estructura con un lenguaje historicista dando el aspecto de muralla al paramento y de torre de homenaje a la toma de aguas, aparte de añadir una portalada al coronamiento desde el estribo izquierdo. Esta intervención trasciende la mera decoración porque califica el carácter, no solo de la presa, sino del embalse entero.

“La gran presa de embalse, de cerca 50 millones de metros cúbicos de agua, tiene el aspecto de un lago, en cuyas aguas produce el viento un agitado oleaje.”⁷

Tras la adquisición de la compañía por Canal de Isabel II, y con el objetivo de incrementar las reservas de agua, se acomete el recrecimiento de la presa. La primera solución planteada es similar a la de **Yesa**, consistente en un paramento de materiales sueltos apoyado al existente, pero interrumpido en la parte central por una bóveda que dejaría la antigua torre de toma aguas abajo. La solución final⁸, de 40m de altura, 1.355m de longitud y 740.000m³ de escollera con pantalla asfáltica, queda separada aguas abajo y se formaliza con dos tramos rectos acordados por

Esquema del aprovechamiento del río Manzanares por la Sociedad Hidráulica Santillana

La Ilustración española y americana, 30 de junio de 1908, p. 3

7 *ABC*, 27 de junio de 1908, p. 11

8 Según proyecto inicial redactado por Juan Antonio Vigueras, y proyecto reformado de Benito Díaz y Jesús Arcenegui. Gómez Pérez, 2014, p. 123



una curva de 130m de diámetro, justo delante de la torre. Aprovechando la antigua presa como ataguía y sin interrumpir el suministro, las obras se ejecutan en solo doce meses, de marzo de 1968 a marzo de 1969. Únicamente un año frente a los quince que se necesitaron para terminar la anterior. Este es el principal motivo por el que se eligió construir una presa de materiales sueltos⁹, cuyo ritmo de ejecución es inalcanzable con ninguna otra tipología.

La torre pierde ahora relevancia en relación al volumen y posición de la nueva presa. Del mismo modo, la coronación de la antigua, sobre la cual “se efectuó el almuerzo de 60 cubiertos”¹⁰ durante la visita del monarca, parece una delgada pasarela. La yuxtaposición de las dos estructuras pone en valor el equilibrio que mantenía la antigua con su entorno, tendiéndose cuidadosamente entre el estribo central y ambas laderas. Un equilibrio que se mantenía a pesar del salto escalar respecto a otra presa anterior.

Pero además, subyace en la obra primitiva la idea de transformación de todo un territorio, la idea de construcción de un lugar. No en vano, el arquitecto utiliza en el paramento, la torre y la portalada unos elementos y un lenguaje similar al del castillo de Manzanares el Real, situado en la ladera derecha, perteneciente al linaje de los Santillana y restaurado en el mismo momento. Con esta operación la presa deviene la antesala y jardín del castillo. El conjunto formado por la toma de aguas y el paramento recuerda poderosamente a la torre de Belém en Lisboa, situada en el cauce del río Tajo y del que es tributario el Manzanares. Tras

Espacios intersticiales y cambio de escala entre la primera y segunda presa, ambas de gravedad, y entre la segunda y la tercera

Gómez Pérez, 2014, p. 125 / Ayuntamiento de Manzanares el Real

9 Álvarez Martínez, Peironcely, 1970, p. 436

10 ABC, 27 de junio de 1908, p. 11



el recrecimiento, despojadas del uso y sentido inicial, torre¹¹ y portalada permanecen como ruinas emergiendo del agua.

Las cerradas antiguamente descartadas por difícil cimentación pueden ser ocupadas ahora por presas de materiales sueltos. Es paradigmático en este sentido el caso de **Tous I**, represando el río Júcar antes de abrirse a la llanura litoral. Un lugar estratégico para proteger La Ribera de las frecuentes avenidas y suministrar agua al área urbana de Valencia, al regadío y al transvase hacia el río Turia. Las obras empiezan en 1958 con una presa de gravedad, pero en 1964 quedan interrumpidas por las complejas condiciones del terreno, situado entre dos fallas que delimitan el cauce¹². Diez años más tarde se reanudan, construyendo un aliviadero sobre los bloques del estribo derecho y añadiendo un tramo central de materiales sueltos, con núcleo de arcilla y espaldones de escollera.

La combinación de ambas estructuras da lugar a un artefacto realmente extraño, por no decir deforme. Yuxtaponer dos sistemas constructivos permite comparar la naturaleza de ambos. Los paramentos lisos, aristados y bien definidos de los bloques de hormigón se contraponen a los planos rugosos y de límites aparentemente menos precisos de la escollera. El perfil vertical aguas arriba del hormigón, e incluso el inclinado aguas abajo,

11 Una pasarela permite el acceso a la torre, habilitada como museo

12 Utrillas Serrano, 2013, p. 50



contrasta fuertemente con los tendidos taludes del cuerpo central. Los estribos inconclusos presentan un perfil escalonado superior que visualmente otorga independencia a los bloques de hormigonado, resaltando la verticalidad de estos frente a las marcas horizontales correspondientes a las tongadas. Las bermas del terraplén acentúan la horizontalidad de la estructura de escollera, remitiendo al mismo tiempo a la acción que subyace en las presas de materiales sueltos: apilar.

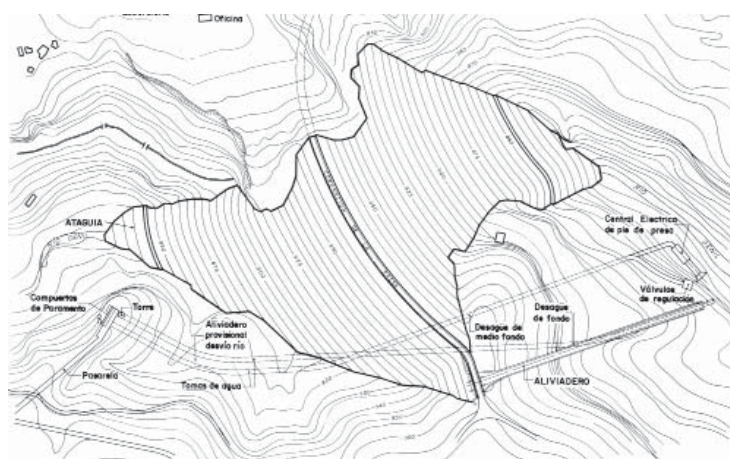
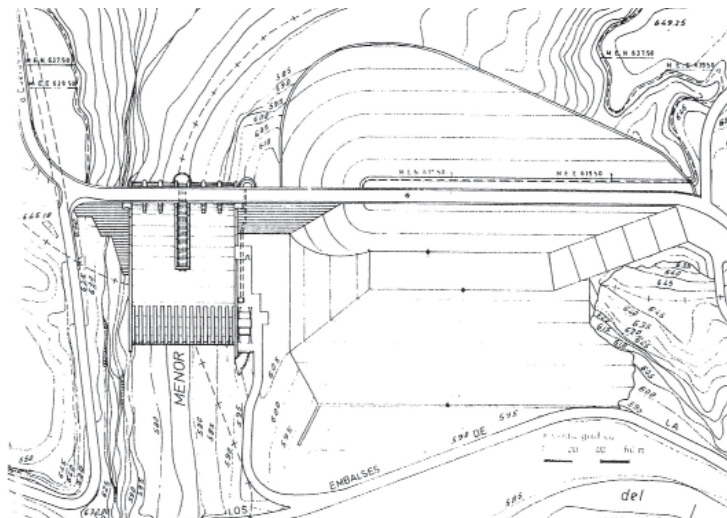
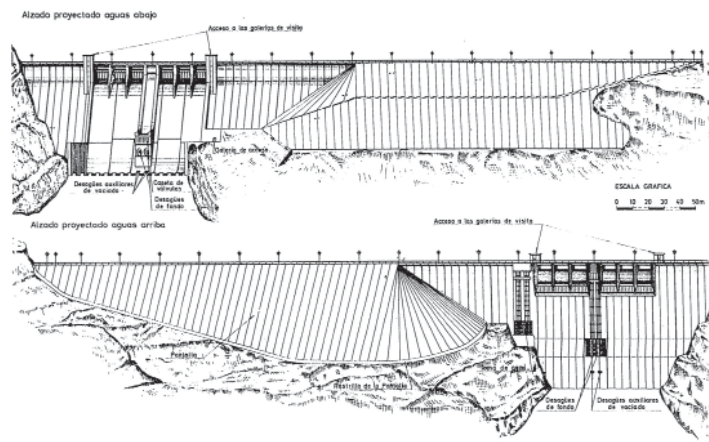
La presa de **Negratín**, terminada en 1984 sobre el Guadiana Menor, afluente del Guadalquivir, también es mixta. A diferencia de **Tous I**, aquí la combinación de ambos tipos se define en proyecto y presenta una ejecución muy cuidada. Ocupa una cerrada disimétrica caracterizada por una parte de arenisca fuerte, otra de margas y arcillas y un estribo de conglomerados. Estudiadas cuatro alternativas, se elige una combinación gravedad-escollera con pantalla asfáltica¹³. El cuerpo de gravedad se asienta sobre la roca resistente de la parte derecha e incorpora un aliviadero de gran capacidad por coronación y los desagües de fondo. El de materiales sueltos, apoyado sobre terrenos más débiles y liberado de todas las solicitudes de los órganos de desguace, corona una loma existente convenientemente perfilada y vegetada.

La estructura híbrida, proyectada por Joaquín Delgado García, admitiría dos miradas contrapuestas. La podemos leer como

Primera presa de Tous, presa de Negratín

Utrillas Serrano, 2013, p. 61 / Fotografía
Javier Hernández Gallardo. Martín Pérez,
Fernández-Palacios Carmona, Sancho
Royo, 2013, p. 84

¹³ Delgado García, 1982, p. 296



Alzados y planta de la presa de Negratín
Delgado García, 1982, pp. 297-298

Planta de Canales, la segunda presa más alta de España con 156m
Bravo Guillén, 1991, p. 15



una presa de materiales sueltos acompañada, como es habitual, de un gran aliviadero de hormigón separado. Pero, inversamente, también sugeriría ser una presa de gravedad estribada en una cerrada artificial. Sin embargo, se trata de una combinación de ambos tipos, y la zona de contacto requiere máxima atención. Se soluciona haciendo girar el perfil de la escollera según un cono de revolución contra el paramento de gravedad. Un escalón en la cara anterior de los bloques de hormigón recibe la pantalla impermeable de la escollera.

En los planos descriptivos de **Negratín** hay un esfuerzo en buscar un sistema de representación apropiado, capaz de transmitir de forma sintética la complejidad de la estructura. Planta y alzados ponen el acento en la configuración geométrica, en las inclinaciones de los distintos paramentos, obviando la naturaleza de los materiales empleados, que se explican mejor en perfil. Preside el alzado una sucesión de líneas fruto de la intersección del cuerpo con planos verticales paralelos. Una proyección ligeramente desviada respecto al eje de la presa permite reconocer el perfil de cada elemento. Son líneas abstractas que tienen un interese menor a la junta entre bloques de hormigón y tampoco responden a ninguna característica constructiva de la escollera. Es lo más semejante a la representación esquemática de un talud.

En planta las líneas corresponden a cotas de nivel, grafiando con el mismo sistema tanto el artificio como el entorno topográfico. Visto así, el cuerpo de hormigón inclinado de **Negratín** se asemeja al de **Yesa**, que realmente sí es escalonado. El dibujo del

Intervención de Lara Almarcegui en la 55 bienal de Venecia en 2013
Fotografía Elly Waterman

alzado otorga mayor uniformidad al conjunto de la presa, frente a la representación en planta donde el peso gráfico recae en las partes más inclinadas. Aquí el paramento de hormigón con los órganos de desagüe es la figura y la escollera forma parte del fondo. La línea de coronación reúne ambos cuerpos, aglutinándolos y estableciendo una directriz a la que responden todos los elementos contruidos.

Explota el contraste entre paramentos contiguos de distinta naturaleza la intervención de Lara Almarcegui¹⁴ en el pabellón español de la 55ª Bienal de Venecia en 2013. La artista zaragozana llena las salas blancas de montañas de derribos, vertiendo en el interior el mismo edificio reducido a seis toneladas de escombros. Una deconstrucción del edificio construido por Javier de Luque en 1922 y reformado por Joaquín Vaquero Palacios en 1952. El espacio expositivo es tan partícipe de la obra como los materiales añadidos. Por contraposición, resaltan también las características de ambos. Los montículos rugosos contrastan con las paredes planas, lisas; con las puertas bien delimitadas por jambas aplomadas y dinteles nivelados. Frente a las paredes blancas e impolutas, los escombros, aunque fueran del mismo color, tomarían otra tonalidad por la vibración que producen las múltiples sombras superficiales. El suelo, la planta transitable por así decirlo, se ha reducido a estrechos caminos entre montículos y es que es imposible construir una pared vertical con materiales sueltos. La misma cantidad de material que permite levantar el edificio, granulado y sin aglomerante la lugar a terraplenes con mayor afectación en planta, con taludes determinados por el ángulo de rozamiento interno. Antes de acometer la intervención fue necesario el refuerzo de la losa del pavimento, sin embargo los muros del edificio requirieron en su momento unos cimientos de mayor calibre.

“Por definición, lo suelto implica la imposibilidad de tomar forma, y la forma es la primordial manera de las cosas para trasladar información. Por la forma se relacionan unos seres con otros, se reconocen, clasifican y los nombran. Lo informe repugna, y se asocia a lo desconocido o intangible. Por ello, lo suelto no gusta. Los ingenieros prefieren que sus materiales sean consistentes.”¹⁵

14 Seisdedos, Iker. “Una montaña de escombros invadirá el pabellón español en Venecia”. *El País*, 16 de mayo de 2013

15 Aguiló Alonso, 2008, p. 383

Las presas de materiales sueltos requerirán otra manera de mirarlas porque abandonan el camino hacia la ligereza agudizado en los años treinta. Será necesario utilizar las gafas adecuadas para observar cuáles son sus atributos y posibilidades.

Bajo la denominación de “materiales sueltos” se agrupan distintos tipos de presa caracterizados por la formación de un dique a partir de la acción de apilar materiales, es decir, poner una cosa sobre otra haciendo una pila, un montón¹⁶. Dentro de estas, las homogéneas, como su nombre indica, están hechas únicamente de un material que responde al mismo tiempo a la estabilidad y a la impermeabilidad. Se basan, por así decirlo, en la construcción de un monte artificial de gran espesor y taludes tendidos, inapropiado para grandes alturas. Es una tecnología utilizada desde antiguo, como lo ejemplifica el conjunto de grandes embalses cingaleses construidos en Sri Lanka entre los siglos VI a.C. y VI d.C., cuyas longitudes alcanzan en algunos casos los 5km.¹⁷

Aunque parezca sorprendente, las presas de materiales sueltos son las primeras en ser estudiadas de forma científica. Esta fue una tarea de ingenieros franceses a lo largo de los siglos XVIII y XIX entre los que destacan Charles A. Coulomb y Alexandre Collin, siendo los primeros análisis una extrapolación del conocimiento sobre terraplenes para carreteras. Ante la evolución de las teorías sobre estática, las presas de mampostería tomarán el protagonismo en Francia antes de mediados de siglo XVIII.

Paralelamente, en el siglo XIX la construcción de presas de tierra vive un auge en Gran Bretaña a raíz de la revolución industrial y la construcción de infraestructuras en las colonias. El planteamiento, a diferencia de las francesas, es más intuitivo, siguiendo la larga tradición y experiencia del país en la construcción de canales y pequeños diques. Un reducido número de ingenieros llega a levantar en poco más de un siglo unas 260 terraplenes de más de 15m, sumadas a otras 80 en las colonias.

Es en Estados Unidos donde el tipo adquiere más proyección. Su rapidez de construcción las hace apropiadas para el ritmo de colonización, a la vez que demuestran un buen comportamiento ante los movimientos sísmicos. No obstante, la experimentalidad

16 *Diccionario de la lengua española*. Real Academia Española

17 También es antigua la construcción de presas de tierras con una pantalla impermeable, normalmente de mampostería, con ejemplos en el próximo oriente como la gran presa de Marib comenzada hacia el 510 a.C. en el actual Yemen

e innovación de las propuestas, sumado a la carencia de registros hidrológicos, conlleva la rotura de una de cada diez presas construidas.¹⁸

La fiebre del oro en California pone en un mismo entorno la necesidad de almacenar agua, los residuos de la explotación minera y su tecnología de extracción y transporte. El uso del método hidráulico, transportando y apilando los áridos con agua a presión y el aprovechamiento de rocas procedentes de la excavación serán otra transferencia tecnológica determinante en el campo de las presas; así nacerán los paramentos de escollera.

Una pila de piedras puede resistir el empuje del agua, pero es incapaz de garantizar la impermeabilidad. Estas serán pues presas heterogéneas, como también lo eran la mayoría de las francesas e inglesas. Serán presas con nombre y apellido. El nombre se referirá al sistema resistente -tierra, gravas, escollera- y el apellido al sistema de impermeabilización. Esta, a su vez, puede situarse aguas arriba o en el núcleo del paramento. La pantalla impermeable aguas arriba -de hormigón, asfáltica o polimérica- libera el cuerpo de las presiones intersticiales con lo que admite taludes más inclinados. La pantalla situada en el núcleo da lugar a presas zonificadas, dotadas de capas filtrantes con un papel trascendental para prevenir la erosión interna y limitar la presión intersticial del agua.

Si en las variantes con pantalla el elemento impermeable queda expuesto, al menos aguas arriba, en las presas zonificadas desaparece de la vista. Aquí la magia no está en la levedad de la estructura o el sobrevuelo de la bóveda sobre el vacío, sino en la capacidad de un apilamiento de piedras para retener el agua. A pesar de parecer un sistema arcaico y primitivo, las presas de escollera y especialmente las zonificadas, son artefactos sofisticados. El agua no se retiene en seco frente un paramento de hormigón sino que “la lucha es mucho más equilibrada, inteligente, ágil y compleja.”¹⁹

Las aportaciones de Karl von Terzaghi en los años veinte y los estudios del *Bureau of Reclamation* de los Estados Unidos durante las siguientes décadas afianzan una base de conocimientos suficiente para un buen análisis del comportamiento de las presas

18 Un 9% de las 360 presas construidas hasta 1930. Schnitter, 2000, pp. 173, 174

19 Delgado Ramos, Aguiló Alonso, 2003, p. 82

de materiales sueltos. Lo que a primera vista consideraríamos un sistema de construcción banal, se dota de los conocimientos necesarios²⁰ en el mismo momento que eclosiona otro sistema opuesto, quizás más refinado y a priori más sofisticado, la construcción con elementos ligeros de hormigón que trabajan por su forma.

El empuje definitivo a las presas de materiales sueltos lo da el avance experimentado por la maquinaria de obra en Estados Unidos entre los años treinta y cuarenta. El aumento de la dimensión de los neumáticos de caucho y la potencia de los motores permite fabricar máquinas para mover grandes cantidades de tierra que a su vez pueden recorrer medias distancias por carretera: excavadoras, niveladoras, traíllas, camiones y a partir de mediados cincuenta rodillos vibradores.²¹

El tipo en cuestión ya está respaldado por el conocimiento y los medios técnicos. Su eclosión está estrechamente vinculada al aumento del coste de la mano de obra y la capacidad de acceso a la nueva maquinaria. El desarrollo económico de cada país determinará el momento en que es eficiente construir con materiales sueltos, popularizándose en todo el mundo a partir de los años setenta. Actualmente el 85% de las grandes presas mundiales son de materiales sueltos, especialmente por la profusión de este tipo en China, cuyo número total de presas representa la mitad de las construidas en el mundo.²²

En España existen 485 presas de materiales sueltos, que sumadas a las 24 que combinan este tipo con el de gravedad, representan un tercio del total de 1538 presas inventariadas²³. A finales de los noventa sumaban poco más de la cuarta parte, pero constituían la mitad de las presas en construcción²⁴, junto a las de gravedad y las de hormigón compactado con rodillo (RCC).

Este último sistema, en el que España es pionera, permite el abaratamiento de las presas de gravedad mediante el empleo de la maquinaria utilizada en el tipo de materiales sueltos. La



Proceso mecanizado de construcción de las presas de materiales sueltos

20 El Cedex realiza actualmente investigaciones sobre deformabilidad y resistencia al corte de escolleras y sobre técnicas geofísicas para el estudio de filtraciones. Olalla Marañón, Cea Azañedo, 2008, p. 257

21 Schnitter, 2000, pp. 182, 183

22 Para alturas a partir de los 100m, lo que determina "el estado del arte" según los expertos, representan una tercera parte. Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001

23 *Inventario de Presas y Embalses*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015

24 Delgado Ramos, Aguiló Alonso, 2003, p. 81



construcción del cuerpo a partir de bloques independientes se sustituye por el hormigonado completo del paramento por toncadas. Los encofrados se reducen a simples tabicas laterales, lo que normalmente da lugar al característico perfil escalonado en el paramento aguas abajo, evidenciando una superposición de capas. El hormigón empleado puede ser de menor resistencia y el proceso de vibrado es substituido por una compactación con rodillo. Aunque se trate de otro tipo, este es un sistema que también se basa en apilar, ahora capas de hormigón.

Las presas de tierra no superan en España los 100m, concentrándose en alturas menores a 30m, y las de escollera toman relevancia entre los 30m y los 100m. Una veintena de presas de materiales sueltos superan los 80m, siendo **Canales** la segunda más alta del país, con 156m sobre cimientos²⁵. Pero, ¿cuáles son los motivos que explican la baja proporción de presas de este tipo en España? A pesar de que las presas romanas de **Proserpina**, **Cornalvo**, **Tomás**, **Alcantarilla**, **Consuegra**, **Pareón I** y **Valermoso** pueden enmarcarse en la tipología de tierra con una pantalla impermeable de mampostería -dotada en algunos casos de contrafuertes-, la tradición constructiva ha seguido otros caminos. La geografía española ofrece espléndidas cerradas, tanto por su forma como por su estructura geológica. Únicamente en el momento en que se agotan los enclaves de buena calidad y es

25 Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001



necesario levantar presas en otros lugares, los tipos de materiales sueltos son tomados en consideración.

Respeto a los costes de construcción, se puede considerar como punto de inflexión alrededor de 1960, en que por un lado empiezan a subir los salarios y por el otro el país se puede permitir maquinaria eficiente²⁶. A principios de este siglo, el precio del metro cúbico construido de un paramento de hormigón es nueve veces más caro que el de escollera, y casi catorce que el de tierras²⁷. Estos datos excluyen el coste de obras secundarias y factores de corrección, pero ponen de manifiesto la gran cantidad de materiales que se pueden apilar por el mismo precio de un metro cúbico de hormigón.

Son escasos los ejemplos de presas de tierra de principios de siglo XX en España. Destaca **La Sotonera**, promovida por la *Ley de Riegos del Alto Aragón* como embalse de cabecera del canal de los Monegros. Es una estructura de hasta 34m de altura y casi 4km de longitud que represa los cauces de los ríos Astón, Sotón y Alberca de Alcalá, aparte de recibir las aguas del Gállego por un canal de derivación. Las obras se ejecutan en varias etapas entre 1917 y 1963. Su terminación enlaza con el comienzo de las primeras realizaciones importantes en las variantes de materiales sueltos; en 1965 se concluye la presa de tierras de **Guadarranque**

Primeras presas relevantes de materiales sueltos: La Sotonera, Portodemouros y Guadarranque
El Heraldo / Sociedad Española de Presas y Embalses

26 Álvarez Martínez, Peironcely, 1970, p. 433

27 Arteaga Serrano, Malmcrona, 2002, p. 55

en el río homónimo y en 1967 la primera de escollera, **Porto-demouros**, en el río Ulla. Representan la toma de confianza y el pistoletazo de salida para una tipología de gran profusión de aquí en adelante.

A pesar de su aspecto robusto, sobretodo si lo comparamos con las ligeras cáscaras de huevo, el talón de Aquiles del tipo de materiales sueltos es el vertido por coronación. Esta es la principal causa de rotura, representando un tercio de los accidentes en este tipo a nivel mundial, seguido de los inducidos por la erosión interna del cuerpo y de los cimientos. Es también la causa principal de rotura en las presas de mampostería que, a pesar de ser de gravedad, responden a un proceso de apilado y en general no están pensadas para el rebase. En el caso de las presas de hormigón, por el contrario, los principales problemas son relativos a los cimientos como la erosión interna o la resistencia al corte.²⁸

De las diez roturas registradas en España desde 1799, todos los incidentes en presas de materiales sueltos son debidas a esta causa²⁹. Es el caso de **Odiel-Río Tinto** en 1968, **Jerte** en 1977 y **Tous I** en 1982. Sin embargo, también es necesario aclarar que las presas de **Pineta** y **Plandescún**³⁰ resistieron, sin daños graves, vertidos por coronación con una lámina de agua algo superior a los 0,30m.

“Está todo oscuro, no se ve nada, pero el teniente ha escuchado un ruido que le hace pensar que la presa se ha reventado.”

El atardecer del 20 de octubre de 1982, el teniente coronel de la Guardia Civil, Quintiliano Pérez Monedero, transmite al presidente del Gobierno lo que el teniente del puesto de Carlet, destacado en una ladera del embalse con su Land Rover, le acaba de comunicar. Leopoldo Calvo Sotelo, de formación Ingeniero de Caminos Canales y Puertos, exclama: “Ese teniente es un burro, las presas no pueden reventar”. “Mi teniente será un burro, pero la presa ha reventado. Si lo dice él, es verdad”, responde Pérez Monedero.³¹

28 Comité Nacional Español de Grandes Presas (ed.), 1996, pp. 26-28

29 Yagüe Córdova, 2008, p. 78

30 También en 1982. Berga Casafont, 2008, p. 201

31 Según afirman los periodistas presentes en el palacio del Temple. Alvendín, Teresa. “Mi teniente será un burro, pero la presa de Tous ha reventado”. Especial Pantanada de Tous, 30 aniversario. Levante, 18 de octubre de 2012

“Xúquer” significa en árabe “devastador”, lo que nos da una idea del carácter de este río levantino. La gota fría de octubre de 1982 presenta unas características excepcionales porque afecta una extensa área durante un período prolongado de tiempo. El caudal del río alcanza los 9.900m³/s en el embalse de **Tous**³², siendo la media anual en este punto de 42,39m³/s. Una avenida del río Escalona inunda a las 11:30 los generadores de la presa quedando inutilizadas las compuertas del aliviadero. A las 16:30 el agua alcaza la cota de coronación, saturando la escollera y empezando un proceso de desmoronamiento que seguiría con el núcleo de arcillas. Otra avenida a las 19:15 desencadena la rotura del cuerpo de materiales sueltos, derrumbándose también el lateral del cajero de alivio.

La presa libera un caudal de unos 15.000m³/s aguas abajo que empeora la ya complicada situación³³. Aunque las compuertas hubieran funcionado correctamente y con el pantano vacío, es probable que la presa hubiese reventado dado que la excepcional avenida superaba la capacidad del embalse sumada a la del aliviadero. Los órganos de alivio de la presa estaban dimensionados para evacuar 7.000m³/s, correspondientes a la avenida máxima a 500 años exigida por la normativa del momento, y que después del accidente pasó a 1.000 años. Un mayor volumen de embalse habría permitido más capacidad de regulación. De hecho, la presa de **Tous I**, entra en servicio en 1978 sin estar concluida; el paramento de materiales sueltos no alcanza la altura de los bloques de hormigón del estribo izquierdo.

El proyecto³⁴ se había planteado en dos fases, la primera de las cuales establecía la cota de coronación a 98,5m -84,00m nivel normal de embalse- y la siguiente alcanzaba la cota definitiva de coronación a 142m -133m a nivel normal-. Este estadio intermedio permitiría la consolidación del terreno de cimentación, la comprobación del comportamiento de la presa y de la estanqueidad del embalse, aparte de posponer la expropiación de la central



La presa de Tous, en el momento que inicia el vertido por coronación y estado posterior a la rotura en el que se observan los estribos de gravedad y parte del núcleo de arcilla

Berga Casafont (ed.), 2008, p. 194 / *La Veu del País Valencià*

Efecto de “la pantanà” en Carcaixent
Fotografía de Benavent Monpó. *Las Provincias*

32 Arenillas Parra, Miguel [et al.], 1993, p. 73

33 Las inundaciones causaron entre 12 y 30 víctimas mortales, centenares de heridos, 30.000 personas damnificadas, 300 millones de euros en pérdidas en agricultura, viviendas e infraestructuras. La sentencia del Tribunal Supremo de 1997 concluye que la presa reventó por no abrirse las compuertas y obliga al Estado a asumir la responsabilidad

34 *Proyecto Reformado de Replanteo del embalse de Tous en el río Júcar (Valencia). Solución presa de escollera. Primera fase hasta cota 84 de embalse*

de Millares aguas arriba³⁵. Esta es también una de las ventajas que brindan las presas de materiales sueltos, la capacidad de ser recrecidas sin problemas de unión entre partes. Unas obras que en **Tous** se debían ejecutar con la mínima afectación posible al funcionamiento normal de la explotación.

A este factor se le añade la alta flexibilidad del tipo para adaptarse a los imprevistos que puedan presentarse durante las obras. Los problemas de cimentación, por ejemplo, suponen un gran contratiempo en el resto de tipologías. La forma de las presas de materiales sueltos es lo suficientemente maleable como para corregir estas contingencias, como defienden Alfonso Álvarez y José Manuel Peironcelly:

“Mientras que la presa de fábrica parece exigir una continuidad y regularidad en sus formas externas, no repugna una presa de materiales sueltos cuyos taludes sean completamente irregulares, asemejándose a los taludes naturales.”³⁶

Este par de ingenieros da un paso más allá especulando en la capacidad de maniobra subyacente en el tipo:

“la anterior condición de continua adecuación y adaptabilidad del proyecto durante la construcción, si fuese necesario, tiene ventajas, ya que así podemos empezar sin gran riesgo la presa, aunque su proyecto no esté totalmente ultimado, ganando tiempo en el plazo total.”

El *Plan General de Defensa contra avenidas del Júcar* de 1985 da una respuesta global para la protección de esta cuenca con el objetivo de reducir los caudales punta. Aparte de la construcción de un partidor en Albalat y el recrecimiento de motas, establece la construcción de tres presas: **Escalona** sobre el río del mismo nombre, **Bellús** en el río Albaida y como pieza central una nueva presa de **Tous**, con una capacidad de laminación de 450hm³. Aparte del suministro de agua de boca y riego, también se prevé la producción de energía hidroeléctrica en dos centrales, aún por construir.

35 Mendaña Saavedra, Romana Ruiz, 1993, p. 78

36 Álvarez Martínez, Peironcelly, 1970, p. 439

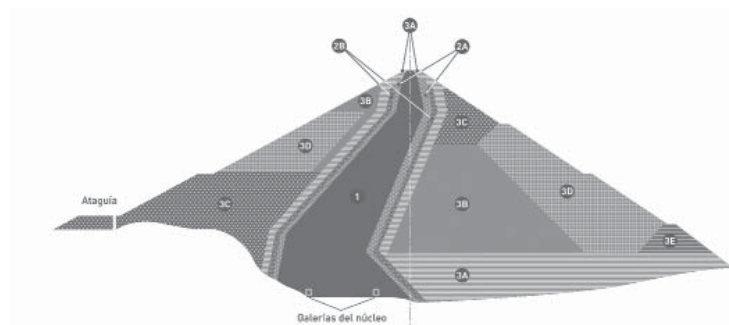


El equipo encabezado por José Antonio Sánchez, y Ángel Gámez como consultor³⁷, tuvo total libertad más allá de las directrices del *Plan de Defensa* y de la condición de garantizar la continuidad en el abastecimiento de agua. Estudian varias alternativas, siendo conscientes que un cambio tipológico y de localización sería más favorable a la opinión pública. A pesar de ello, concluyen con una propuesta para **Tous II** ocupando la misma cerrada, de impermeabilidad asegurada, y del mismo tipo que la anterior. De hecho, no solo esto, sino que aprovechan los restos que quedan en pie: parte del núcleo de arcillas y los bloques de hormigón de los estribos.

La presa de **Tous II** tiene una altura de 135,50m sobre cimientos, similar al salto de **Salime** por ejemplo, y supera en 32m la precedente. La coronación de 1.024m describe una curiosa traza en zigzag formada por dos tramos largos normales al cauce, intercalados con otro par de menor longitud en disposición inclinada, acordados en curva. Es el resultado de incorporar el paramento existente de hormigón, el antiguo aliviadero como desagüe

37 La Confederación Hidrográfica del Júcar adjudica la obra en diciembre de 1989 a la UTE Agroman Empresa Constructora, SA y Dragados y Construcciones, SA, que introdujo un conjunto de mejoras. Tras los ensayos en modelo reducido y el estudio de la cimentación existente, Luís de Cañizo y Fernando del Campo redactan el *Proyecto de Modificado nº 1* aprobado en noviembre de 1992. José Luís Utrillas Serrano es designado director de obras

Proceso de compactación del núcleo de arcillas y saneamiento de los estribos de gravedad
Utrillas Serrano, 2013, p. 75



intermedio, las galerías de control y el sistema de impermeabilización. Estos elementos pautan y direccionan el tramo principal, mientras que el resto del cuerpo se adapta a los condicionantes de la cerrada. Es un trabajo muy hábil que aprovecha además el túnel de desvío existente y también la ataguía y contraataguía originales para mantener el caudal de suministro.

El cuerpo de la presa es altamente zonificado con un núcleo de arcilla inclinado hacia aguas abajo. Está bordeado por dos capas de filtros de 3m cada una³⁸ y dos espaldones de escollera con partes de distinto calibre. Forma unos taludes de 1,85 con una berma aguas arriba y 1,5 con tres bermas aguas abajo. Los bloques de hormigón originales quedan embebidos en la nueva presa, lo que requiere un estudio detallado del punto de contacto. Esto exige la regularización de los paramentos, el ensanchamiento del núcleo y el empleo de arcillas de mayor plasticidad, entre otros aspectos. Como ningún otro tipo de presa, los materiales sueltos permiten esta libertad de adaptación, demostrando aquí que es posible aprovechar restos de un cuerpo del mismo tipo y de otro de gravedad.

Las calizas de la escollera proceden de las excavaciones de la propia obra y dos canteras próximas, abiertas en la margen izquierda y en la península que delimitan los ríos Júcar y Escalona. La arcilla se extrae de otra explotación 2km aguas arriba, en Terrabona, que también se utilizó para **Tous I**. Esta es otra de las singularidades de las presas de materiales sueltos: las materias proceden siempre de un lugar cercano. En la medida de lo posible, se aprovechan los residuos de excavación y en algunos casos, como en **Yesa**, incluso se utilizan acarrees fluviales del propio

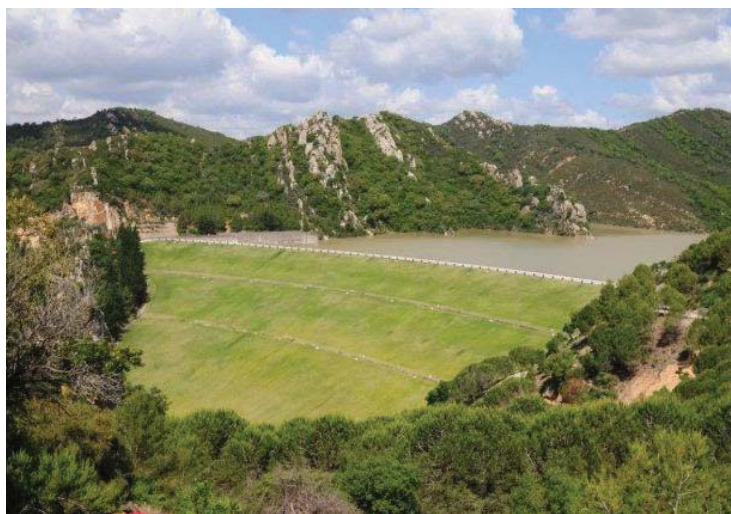
³⁸ Una capa interior de filtro fino, de 5m en la cara aguas abajo, y una capa exterior de filtro grueso



lecho. El material de construcción es a la presa de materiales sueltos lo que el producto de kilómetro cero representa para la cocina. Dicho de otro modo, el perfil de la presa vendrá determinado por las cualidades de los materiales disponibles. Es por así decirlo, cocina de mercado. El mejor ejemplo lo constituyen las presas californianas levantadas durante la fiebre del oro; no solo usan los restos de las explotaciones mineras, probando con ello el uso de nuevos materiales, sino que además emplean la maquinaria y los sistemas empleados para extraer el oro.

Trabajar con lo que se tiene a mano es habitual en cualquier presa, pero aquí es imprescindible y determinante en el resultado. Esta es quizá una de las mayores diferencias respecto otras tipologías, que afecta no solo la forma final sino sobretudo el modo de proyectar. Aparte de los estudios topográficos, hidrológicos o geológicos, antes de empezar a diseñar será necesario conocer qué hay disponible. En lugar de tomar una receta preestablecida, buscaremos aquella que se adapte mejor a los productos que primero hemos encontrado en el mercado. Los comentarios de Álvarez y Peironcelly al respecto, muestran una actitud opuesta a la preocupación de Fernández-Ordóñez que encabeza este capítulo:

Planta y perfil de la presa de Tous II
Utrillas Serrano, 2013, pp. 70, 71



“En general en toda obra, pero mucho más en una presa de materiales sueltos, debe el ingeniero buscar cómo realizarla con materiales disponibles en las inmediaciones, a fin de conseguir la máxima economía. Es decir, evitará el dejarse llevar por la apetencia de construirla con un volumen mínimo, de lograr taludes que sean un alarde con sus pendientes y, en general, no deberá proyectarla con arreglo aun determinado tipo concebido de antemano.

Lo que siempre deberá ser mínimo dentro de los márgenes de seguridad exigidos será el coste total, es decir, el producto volumen total por precio unitario.”³⁹

Trabajar con materiales extraídos del emplazamiento puede dotar a la presa de un cromatismo más cercano a las formaciones geológicas de la cerrada. La escollera de pizarra negra de **Portodemouros**, bajo los efectos de la climatología local durante casi cincuenta años, o los materiales del dique de **Cuevas de Almanzora** constituyen un buen ejemplo. Los taludes de presas de tierras permiten además ser plantadas, como el tapiz de césped de **Guadarranque** y de **Charco Redondo**, construidas con veinte años de diferencia, de alturas parecidas por encima de los 70m y situadas en el interior de la bahía de Algeciras. Como

Paramentos vegetados de las presas de Charco Redondo y Endara

39 Álvarez Martínez, Peironcelly, 1970, pp. 436-437

caso extremo de esta casuística destaca la presa de **San Antón**, terminada en el río Endara en 1988 para el suministro de agua de Irún y Hondarribia. Es una presa de materiales sueltos con pantalla impermeable de hormigón armado aguas arriba y un talud opuesto plantado de árboles, dando continuidad al bosque que cubre las laderas.

Pero no cabe confundirse; que la presa mimetice con el entorno no quiere decir que desaparezca ni que se confunda con un hecho geográfico natural. Los taludes rugosos y tendidos, plantados o no, presentan unas características opuestas al paramento de hormigón liso y perfecto. Pero la estricta horizontalidad de la coronación y las bermas ponen en evidencia el artificio, como también lo hace la regularidad del pendiente. Son características intrínsecas de este tipo, reflejo de la acción de apilar. Las antiguas presas en mampostería de hiladas regulares o las de hormigón compactado con rodillo comparten este predominio de la horizontalidad, fruto de su sistema constructivo basado en la construcción por capas. Pero, tanto las juntas del aparejo o las tongadas de hormigón no están a la escala del conjunto, mas bien configuran la textura del paramento como lo hace aquí la escollera. Las bermas en las presas de materiales sueltos, por su separación y anchura, sí que interpelan a todo el cuerpo.

La escollera normalmente se replantea a partir de un plinto de hormigón en la base que delimita y regulariza el encuentro con el cauce y las laderas. Es un elemento fundacional equivalente a lo que el bordillo es a la calle. Ocasionalmente, como en **Charco Redondo** se dispone de una cuneta perimetral que separa la ladera del talud. El punto de contacto del paramento con el terreno natural es otra evidencia clave del artificio, que requiere la máxima atención.

“La delimitación del paramento -como parte de lo construido- respecto a las laderas naturales tiene un gran peso: probablemente, cualquier solución será válida menos la de hacer caso omiso al detalle.”⁴⁰

El aliviadero de **Tous II**, estudiado previamente en modelo reducido, se sitúa sobre la margen derecha, 32m por debajo de la



Vista desde aguas abajo de las presas de Portodemouros y Cuevas de Almanzora

40 Delgado Ramos, Aguiló Alonso, 2003, p. 83



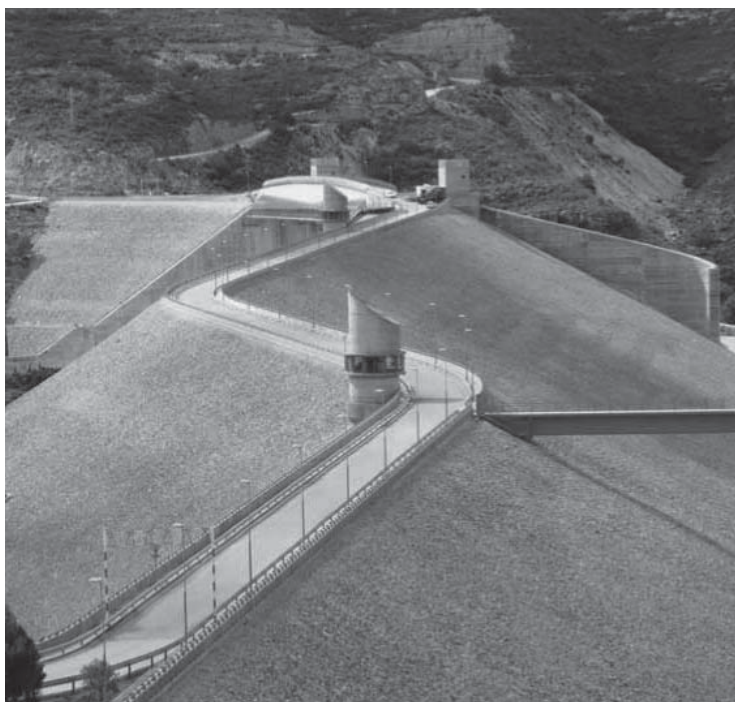
cota de coronación. Tiene unas dimensiones importantes de 75m de anchura con un cajero de desguace de 215m de longitud y 12m de altura que termina en trampolín, ligeramente curvado para dirigir las aguas al cauce. Permite evacuar una avenida máxima probable de $19.700\text{m}^3/\text{s}$ para un período de retorno de 10.000 años. El dimensionado de este órgano supera el de la mayoría de presas situadas en ríos más caudalosos como el Ebro, el Duero o el Tajo. Carece de compuertas, pero está dotado de nueve ojos inferiores que permiten una primera laminación con un caudal de vertido de $2.500\text{m}^3/\text{s}$, garantizando la seguridad aguas abajo. Superado este zócalo de 10m, el agua evacua libremente por la parte superior.

Los antecedentes no afectan únicamente al dimensionado de los órganos de alivio sino también al régimen de explotación del embalse. Durante los meses de mayor probabilidad de avenidas extraordinarias, entre octubre y noviembre, se mantiene al 20% de su capacidad. El resto del año se regula en torno un nivel máximo normal de 378hm^3 , respecto los 792hm^3 que constituyen su nivel extraordinario. El espacio de reserva asegura la protección aguas abajo, pero también resguarda el mismo cuerpo de la presa. Precisamente, la sobreelevación de la cota de coronación es uno de los factores que pueden encarecer una presa de materiales sueltos, junto con la construcción del aliviadero aparte.⁴¹

Durante la primera mitad del siglo XX las presas de gravedad evolucionan hacia la compactación de todos los elementos en el paramento, adosando la toma de aguas, disponiendo el aliviadero en coronación y, en algunos casos, incorporando la central a pie de presa. La verticalidad y el vuelo de la parte superior de las presas bóveda facilita a priori el vertido por coronación, aunque en este caso la central debe situarse aparte, del mismo modo que se separan de la cáscara las torres de toma. En las de materiales sueltos, el aliviadero se construye normalmente en un collado independiente o arrimado a una ladera de la cerrada, cimentado directamente sobre la roca. Mantiene una independencia estructural y morfológica respecto al cuerpo de la presa, formalizando una composición asimétrica cuando comparte cerrada con él. Da lugar a cajeros con protecciones laterales y

Construcción del aliviadero y del canal de descarga
Utrillas Serrano, 2013, pp. 80, 84

41 De momento, son escasas las presas de materiales sueltos en las que se ha conseguido un diseño que permita el vertido por coronación, aunque esto representaría una indudable mejora del tipo



longitudes importantes, porque aparte de cruzar el tendido talud del terraplén, es determinante la separación en que se vierten las aguas a fin de limitar cualquier riesgo. En cierto modo recuerda a las antiguas presas de gravedad, en un momento en que no se vertía por coronación porque existían menos conocimientos hidráulicos. A parte de la desviación del camino hacia la ligereza, las presas de materiales sueltos también deshacen el camino de la compactación.

Nos encontramos pues frente a una dispersión de elementos que responden además a distintos sistemas constructivos. Los materiales sueltos de los paramentos frente al hormigón de aliviaderos y torres de toma. Unos definidos en base a las características de los materiales disponibles y los otros determinados por estudios hidráulicos. Pero esta situación difiere de la de principios de siglo en un aspecto muy importante; las presas compactas y en último término la importancia de las relaciones entre sus partes, están presentes en la mente del proyectista, forman parte de sus conocimientos.

En **Tous II**, una de las torres de acceso a las galerías inferiores se coloca en relación a una inflexión del paramento; la

Paramento, tomas de agua y aliviadero de la presa de Tous II
Utrillas Serrano, 2013, pp. 114, 83, 147

otra probablemente no lo haga por la proximidad del aliviadero. Los fustes circulares se levantan apilando anillos prefabricados de hormigón armado. Emergen del talud aguas abajo, tangentes al vial de coronación. Una ventana anular de mayor diámetro y el corte superior inclinado del cilindro según el talud aguas arriba singularizan su remate. A pesar de la diferencia escalar y de intencionalidad, el papel que asumen estos núcleos de acceso articulando el muro recordaría vagamente al de la toma de aguas de la presa de **Manzanares el Real**.

Aquí, el par de torres de toma se alinea sobre un eje perpendicular al cuerpo de la presa, cerca del estribo izquierdo, y una pasarela las conecta con la vía de coronación.

El gran aliviadero se salva con un puente formado por un cajero de hormigón armado de 77m de luz entre apoyos, 9m de anchura y un canto variable de 2,20m hasta 4,40m. La sobreelevación de la cota de coronación respecto al nivel máximo del agua permite descolgar de esta estructura una plataforma en toda su longitud. Sobrepasa la anchura del puente y se cierra por ambos lados con una galería acristalada. Es un mirador sobre el único vacío que ofrece la presa de materiales sueltos, el aliviadero.

El gran paramento de escollera viene pautado por la disposición del resto de elementos realizados en hormigón y cuyas partes metálicas y acristaladas son pintadas de color azul. El valor de la organización del conjunto es un complejo ejercicio de composición. Más bien de recomposición, de reunión de una serie de elementos cuya distribución está en gran medida condicionada por los restos aprovechables de la presa existente y por las exigencias del gran caudal a evacuar.

En las presas de gravedad, como hemos visto, es posible aglutinar las partes en una estructura compleja. Pero hay algunos aspectos que se escapan generalmente de la reunión, como son los trabajos de estabilización de las laderas o el alargamiento del paramento en collados. Estos cabos sueltos son aún más evidentes en las presas de contrafuertes o de bóveda. El cuerpo de la presa es una construcción estricta, limitada normalmente por las paredes que definen la cerrada. De repente, el proyectista tiene en los materiales sueltos un nuevo recurso para recomponer aquellas partes que antes habrían quedado desvinculadas, el dique de escollera. Es un sistema lo suficientemente económico y adaptable en para extenderse más allá del propio cuerpo de la presa.



Este es uno de los recursos que utiliza Joaquín Delgado García en la presa de **El Portillo** terminada en 1999 en el río Castril. La traza de la presa aguas arriba se completa prolongando el terraplén hasta englobar el lateral del aliviadero en el estribo izquierdo y hacia la toma de agua en la parte derecha⁴². La embocadura del primero aprovecha un collado natural para trazar un canal que vierte en una rambla afluente del Castril aguas abajo. Por el antiguo túnel de desvío circulan dos tuberías de desagüe de 1,5m de diámetro que parten de la torre de toma de aguas y alimentan la central hidroeléctrica y el sistema de suministro. La central se sitúa bajo la rasante de la vía que cruza el cauce a pie de

Trazado zigzagante de la segunda presa de Tous para adaptarse a fisiografía de la cerrada y los restos aprovechables de la primera presa
Ayuntamiento de Tous

42 Delgado Ramos, Aguiló Alonso, 2003, p. 87

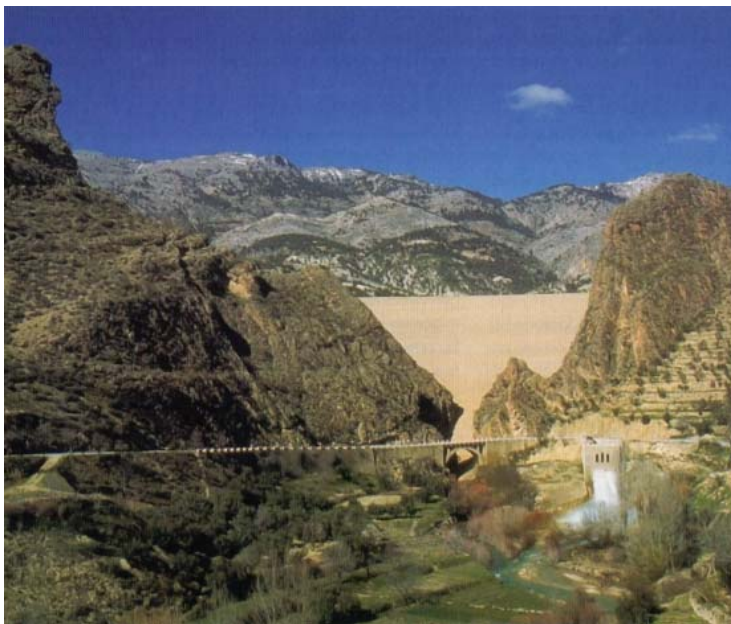


presa. Esta posición relativa, junto con la resolución geométrica del volumen y el revestimiento en piedra la emparentan con los muros de contención de la carretera. La habilidad del proyectista, atendiendo a la dificultad de relacionar central y presa, está en haberla entendido como parte de la estructura que permite el nivelado de la carretera.

Esta solución recuerda alguno de los recursos utilizados por el mismo autor en **San Clemente**, terminada en 1990 y perteneciente también al *Plan de Aprovechamiento integral de los ríos Castril y Guardal* para el regadío de las comarcas de Húscar y Baza. La presa se asienta sobre un terreno disimétrico con materiales duros en la izquierda y blandos en la derecha, con lo que la tipología de materiales sueltos es la adecuada⁴³. Aquí el aliviadero discurre por la misma cerrada, en la parte izquierda. La extensión del canal, más allá del pie de presa, termina sobre un volumen revestido en piedra desde el que también desemboca el desagüe de fondo. La estructura del aliviadero es aquí el elemento que reúne al resto de desagües y la carretera, vinculándolos con la coronación.

Ambas presas son de escollera de calizas con doble filtro y núcleo central de arcilla la primera y margas la segunda. Los

43 Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (ed.), 1994, p. 433



paramentos son de una ejecución cuidadísima, empleándose en **San Clemente** escollera compactada de entre 5 y 30cm aguas abajo y de entre 40 y 60cm aguas arriba.⁴⁴

La presa de **El Portillo** cierra una estrecha cerrada -un portillo- de formación caliza. El paramento se sitúa aguas arriba porque su espesor es mayor al de la cerrada y por la conveniencia de dar continuidad al núcleo con una capa de margas impermeables⁴⁵. El cierre del paso natural desde aguas arriba comporta el trazado de un paramento arqueado, que prolonga y refuerza la carretera de coronación. La ocupación de esta cerrada pone de relieve, más allá de los requisitos técnicos y funcionales, la capacidad de lectura del emplazamiento y la conciencia de que se está construyendo un paisaje. La garganta mantiene desde aguas abajo su verticalidad y la presa constituye un telón de fondo, ayudado por la ausencia de bermas.

El volumen del cuerpo de **Tous II**⁴⁶ es de 9.790.000m³ de materiales, de los cuales una cuarta parte proceden de la excavación del aliviadero. Es una cantidad superior a los 7.248.000m³ de

El trazado de la presa de El Portillo tiene continuidad con la vía de coronación. Los edificios auxiliares se ponen en relación a la carretera y puente existentes

Fotografía Javier Hernández Gallardo.
Martín Pérez, Fernández-Palacios
Carmona, Sancho Royo, 2013 / Aguiló
Alonso, 2002, p. 288

44 Delgado García, 1992, p. 109

45 Delgado García, 2001, p. 103

46 Proyecto finalista en la primera Biental Iberoamericana de Arquitectura y Urbanismo, abierta también a las obras de ingeniería civil



Canales, que con 156m sobre cimientos es la presa de materiales sueltos con mayor altura en España, solo superada por la bóveda de **La Almendra** que alcanza los 202m. Esta tecnología no está reservada pues a embalses discretos, sino que es apta y fiable para resolver los mayores retos. Sin embargo, subyace en ella algo primitivo: las presas de materiales sueltos son el resultado de apilar material. Unas materias que además provienen del mismo lugar y cuyas características serán determinantes en el perfil definitivo. La forma de la presa no depende estrictamente de la voluntad preestablecida, deriva directamente de lo que hay disponible.

Es un proceso con muchos paralelismos con las construcciones del mundo animal: el nido, el rusco o el hormiguero se construyen con materiales disponibles. Mayor es la capacidad de transformación del hábitat de los castores que construyen diques en bosques para convertirlos en estanques; también represan ríos para disminuir la fuerza de la corriente y situar la madriguera aguas abajo. Son construcciones realizadas a partir del apilado de troncos, ramas y barro que también sirven de protección frente a sus depredadores y facilitan la obtención de comida. Incluso la forma de la construcción se adapta a las condiciones, siendo rectas o arqueadas en función del caudal y alcanzando longitudes de coronación de hasta 850 metros.⁴⁷

Apilar lo que uno tiene a mano es un acto aparentemente sencillo; nos remite a una construcción manual, en la que miles de

Adaptación del entorno de Dazhai, comunidad agrícola modelo de la china maoísta

47 "La mayor presa de castores del mundo visible desde el espacio". *ABC*, 6 de mayo de 2010

operarios trabajan con escasas herramientas modelando un paisaje para el bien común. Es lo que popularmente, en un sentido positivo, calificaríamos de “trabajo de chinos”, aproximándose al concepto de *ingeniería total* definido por Fernández Casado.

“La ingeniería china de finales de los años sesenta es el ejemplo más admirable de esta modalidad de *ingeniería total*. La ingeniería está presente en toda la vida china, sobre todo en el campo, donde se modela la naturaleza en una victoria amorosa que hace un objeto artístico del resultado. En esta ingeniería en paz con la naturaleza son tan importantes los planteamientos de conjunto como el amor a los detalles más pequeños. Se trabaja con la naturaleza como el artista que modela su material, material que se caracteriza por ser multiforme y vario -la naturaleza se constituye en escultura compuesta de todo tipo de materiales, barro, madera, bronce, piedra...-. La obra es humana, a escala 1/1, tal como quería levantar Borges los planos topográficos. Se realiza no con grandes medios mecánicos, sino con pico y pala, poleas, martillos, viejos útiles agrícolas, pólvora -la de los juegos artificiales, no la destructiva de la dinamita-, y con las manos de miles de hombres y mujeres. En esta ingeniería el hombre es potencia natural, que con su trabajo modifica artísticamente la naturaleza...”⁴⁸

Como hemos visto, fueron las primeras en ser estudiadas científicamente pero hasta los años cuarenta no se conoció a fondo su comportamiento por la compleja relación entre el agua y los materiales sueltos. Algunos tipos provienen de la transferencia tecnológica desde la minería o la construcción de carreteras y su eclosión se produce gracias a la mecanización, haciéndolas más competitivas que las artesanales presas de hormigón. La economía dicta un cambio tipológico, aparentemente primitivo pero que establece una relación más sutil con el agua. Puede parecer un regreso al pasado, sin embargo es la puerta a un camino por andar.

48 José Antonio Fernández Ordóñez. “La ingeniería total”, 1984. Fernández Ordóñez, 2009, p. 57



Superponer estructuras

Puentes I, II, III, IV

Los ingenieros españoles se habían propuesto muchas veces antes lograr cosas más grandes y lo consiguieron. Hacia 1800 fueron un poco demasiado lejos y un poco demasiado deprisa.

Norman A. F. Smith¹

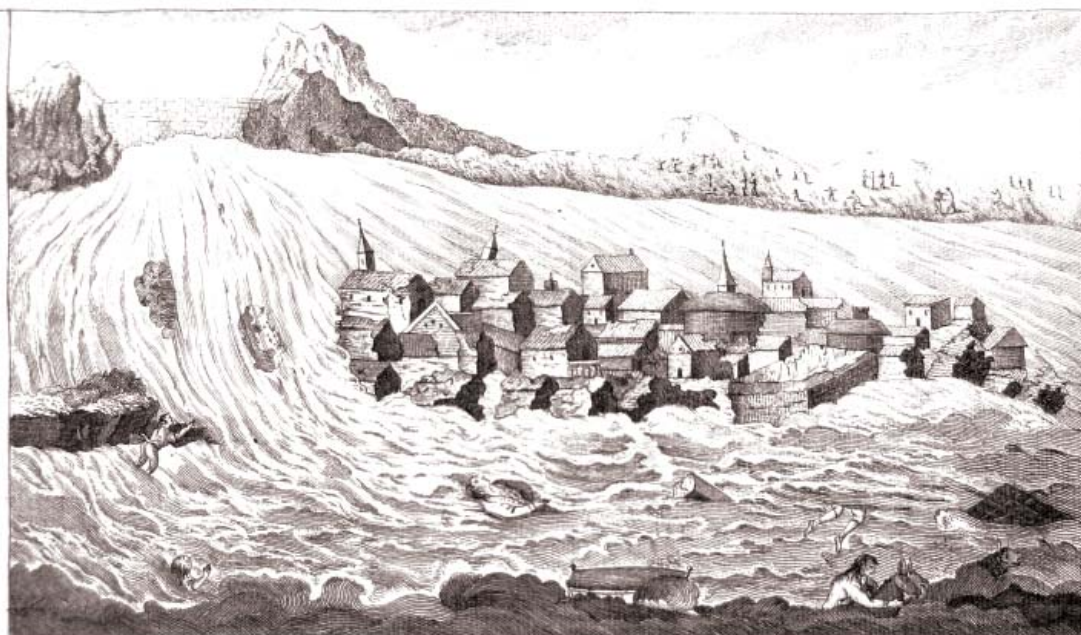
Eran las cuatro de la tarde del viernes 30 de abril de 1802 cuando una riada súbita, de proporciones gigantescas, inunda la ciudad de Lorca. El Guadalentín se lleva por delante la vida de unas 600 personas y arrasa otras 600 casas, principalmente en el barrio de San Cristóbal². El agua descontrolada desfigura el paisaje agrícola y sus infraestructuras de riego y protección, destruyendo acequias, canales y diques de contención. Más tarde llega a las puertas de la ciudad de Murcia, donde se estima que recuperó el cauce del río original.³

El campo lorquino está acostumbrado a largos períodos de sequía interrumpidos por lluvias torrenciales, concentradas en pocos días de primavera y otoño. La cuenca hidrográfica del río Guadalentín permanece muy expuesta a la erosión por la poca masa vegetal que la cubre, propiciando grandes riadas, las más importantes bautizadas según el santoral. Estas aportaciones, en la justa medida, han enriquecido el suelo cultivable con los

1 Smith, Norman A.F. *The Heritage of Spanish Dams*. Reedición del título original editado por el Comité Nacional Español de Grandes Presas, 1970. Madrid: Colegio de Ingenieros, Caminos, Canales y Puertos, 1992, p. 27

2 Fernández Ordóñez (ed.), 1984, p. 352

3 Muñoz Bravo, Bautista Martín, 1986, p. 91



*Vista de la inundación del Barrio de S.^a Cristóbal en la Ciudad de Lorca, -
ocurrida el día 30. de Abril de 1802 por haberse abierto una gran brecha en el depósito de aguas llevadas y de manantiales, 12 brazas mas abajo del orizonte del muelle llamado de Puentes, el qual dista dos leguas escasas de dicha Ciudad. Según lo refiere la Gaceta de Madrid del Viernes 14. de Mayo de este presente año.*

limos que arrastra el curso. No en vano, Guadalentín es en árabe “río de barro”. Pero esta vez la cantidad de agua y la destrucción ocasionada fue muy superior.

Una hora antes se había producido la rotura del pantano de **Puentes**. Las lluvias de marzo lo llenaron casi por completo, alcanzando las aguas unos 46m. Durante los veinticuatro años que llevaba en funcionamiento, el agua difícilmente había sobrepasado de la mitad de su capacidad⁴. En sesenta minutos se vaciaron totalmente los 30hm³, liberando una avenida de unos 8.000m³/s. Es una cantidad que triplica la riada de Santa Teresa de 1973⁵ y que se equipara con las grandes avenidas del río Duero. Los operarios que trabajaban a contracorriente en la limpieza del aliviadero advirtieron la aparición de una surgencia de agua turbia, floreciendo en forma de palmera en el cauce

Grabado de la inundación de 1802
en el barrio de San Cristóbal de la
ciudad de Lorca

Archivo Municipal de Lorca. Fondo
fotográfico

⁴ Informe dado por Agustín de Betancourt sobre los Pantanos y reparos que deben hacerse en Lorca, 1802. Muñoz Bravo, 1996

⁵ La mayor riada del Guadalentín desde la construcción de Puentes III fue la de Santa Teresa en 1973, alcanzando los 2.500m³/s aguas abajo del embalse



arenoso, próxima al pie de presa. Intuyendo un mal porvenir, el encargado de la obra mandó a uno de sus peones hacia Lorca para avisar que el pantano iba a reventar y que los habitantes se pusieran a salvo. En media hora la columna de agua alcanzó más de cinco metros de altura. Después de oír dos explosiones vieron salir una enorme cantidad de agua por la base de la presa, arrastrando arena, árboles, rocas y estacas. Seguidamente se derrumbó la galería de fondo y tras ella la parte inferior de la presa.

El accidente abrió un gran ojo en forma de arco parabólico en la parte central del paramento, de unos 17m de ancho y 33m de altura⁶. El aspecto de la presa después de la catástrofe se acercaba al de un puente; un puente en el estrecho de Puentes. Este hecho excepcional pone de manifiesto la relación de ambos tipos de construcción con el emplazamiento. Su correcta elección es una condición fundamental para minimizar la inversión y asegurar la estabilidad. Presa y puente están profundamente vinculados a la cerrada, al buscar el lugar más estrecho para retener agua o cruzar el cauce. Aquí, el hecho geográfico también había sido elegido para otra construcción, el castillo de Puentes que se remonta a los siglos X-XI. Su posición elevada sobre la confluencia de los ríos

Presa del pantano de Puentes tras la rotura de 1802

Fotografía José Martínez Sánchez, 1867.
Archivo Municipal de Lorca. Fondo
fotográfico

6 Aymard, 1864



Presas de Almansa y Tibi, ambas de gravedad curvada y perfil escalonado
Sociedad Española de Presas y Embalses

Corneros y Luchena con el Guadalentín facilitaba el control del agua y del paso de comunicación natural por el estrecho.⁷

En 1611 dos regidores de Lorca visitan los pantanos de **Almansa** y **Tibi**. Eran las primeras presas importantes construidas en España desde la época romana, ambas de planta curvada y sección escalonada. La primera, construida en 1586 sobre río Belén Grande, tiene 15m de altura alcanzados por el remate de trazado poligonal. La segunda, terminada sobre río Monegre en 1594, tenía 42m de altura, siendo la mas alta del mundo durante casi tres siglos⁸ y una de las obras públicas más relevantes del reinado de Felipe II. **Tibi** fue una infraestructura promovida por el ayuntamiento de Alicante para el riego de la huerta, con lo que constituía un buen ejemplo para el propósito de los visitantes. Después de varias tentativas para traer las aguas a Lorca, parecía que la construcción de un dique podría resolver satisfactoriamente los dos problemas básicos derivados de su climatología: apaciguar las riadas y al mismo tiempo almacenar agua.

Aquí empieza la historia del estrecho de Puentes como hecho geográfico codiciado para la construcción de un pantano. Una primera prospección el mismo año ya advierte que a pesar de la buena forma de la cerrada de rocas sedimentarias clásticas, el lecho es de composición arenosa. No será ningún inconveniente para que en 1647 la ciudad de Lorca encargue la construcción de una presa según el proyecto del arquitecto Pedro Guillén. Contemplaba una presa de gravedad con un trazado recto y un perfil similar a los de **Almansa** y **Tibi**. Tendría una altura y longitud de coronación aproximada de 23m y un grosor variable de 18 a 12m.⁹

Excavados más de tres metros, seguía la presencia de acarreos en el lecho de río. Ante esta situación, el arquitecto propuso una cimentación en base a dos bóvedas de cantería paralelas, cuyos arranques exteriores se apoyaban en la ladera y el central sobre una fila de pilotes. Otra bóveda rebajada se dispuso encima y se macizó el conjunto con mampostería hasta el nivel del agua. El 5 de agosto de 1848 una avenida socavó la cimentación y destruyó por completo la obra.

7 Pujante Martínez, Ana. "El Castillo de Puentes y las alquerías de su entorno: aproximación a la estructura del poblamiento". *Alberca: revista de la Asociación de Amigos del Museo Arqueológico de Lorca*, 2002, núm. 1, pp. 57-84

8 Fernández Ordóñez (ed.), 1984, p. 227

9 Según las estimaciones de Julio Muñoz Bravo. Muñoz Bravo, Bautista Martín, 1986

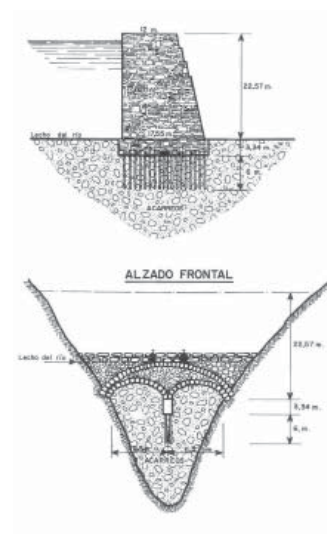
Tras la empresa inacabada de la construcción del canal de Murcia, Carlos III, a través del conde de Floridablanca, impulsa la construcción simultánea de dos presas financiadas por el Tesoro Público. Se trata de un nuevo pantano en el estrecho de Puentes y otro aguas arriba llamado **Valdeinfierno**. Este carecerá de cuenca regable por lo que el proyecto contempla el funcionamiento conjunto de ambos. Es una visión moderna y pionera de la gestión de los recursos hídricos basada en la hiperegulación; la administración conjunta de los dos pantanos aportará un caudal mínimo aceptable para el riego.

Jerónimo Martínez de Lara es designado arquitecto de las dos presas. Después de corregir las deficiencias de proyecto observadas por Juan de Villanueva, arquitecto del Príncipe y los infantes, los dos realizan un reconocimiento in situ para elegir y examinar la cerrada. Se sitúa aguas abajo de la confluencia de los ríos Vélez y Luchena, donde el agua se abre paso entre dos estribos de unos 50m, exactamente en el mismo lugar donde se levantó la primera presa de **Puentes**. Sus restos incluso se señalan el plano de la nueva obra, como si fueran las piedras angulares del replanteo.

Sin embargo se continuaba desconociendo la composición del subsuelo. Antes de empezar la obra el arquitecto mandó clavar unas varas para conocer a cual profundidad se encontraban las dos laderas de roca. Los seis metros de las astas se clavaron sin dificultad en la arena del lecho¹⁰. Para cimentar la presa en estas condiciones, Martínez de Lara proyecta una base de pilotes sobre la cual se alzaría el paramento. Consistía en una retícula de postes de hierro, a razón de uno cada metro. Quedaban unidos por un emparrillado en la parte superior y colmatados por un metro de mampostería. El área cimentada tenía una longitud de unos 95m, casi el doble del grosor de la presa en su arranque. Este tipo de cimentación era común en terrenos de poca consistencia¹¹; muchos puentes sustentan sus pilas sobre pilotes de madera, del mismo modo que están contruidos gran parte de los edificios en Venecia o Ámsterdam. De una manera similar a estos ejemplos, la preocupación del arquitecto era dimensionar la base para recibir el peso propio de la construcción, evitando asientos diferenciales.

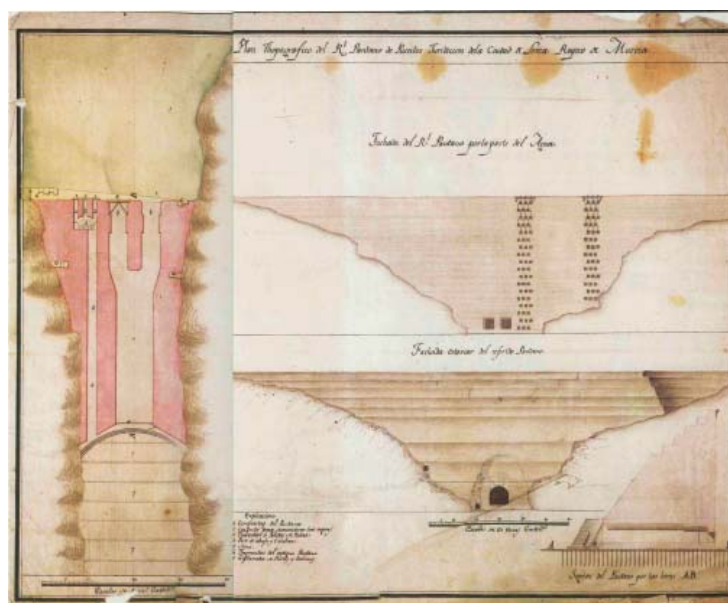
10 *Informe dado por D. Agustín de Betancourt sobre los Pantanos y reparos que deben hacerse en Lorca*, 1802. Muñoz Bravo, 1996, p. 91

11 Muchos azudes sobre ríos importantes están cimentados sobre pilotes



Sección longitudinal y sección transversal de los cimientos de la primera presa de Puentes, según estimación de Julio Muñoz Bravo

Muñoz Bravo, Bautista Martín, 1986, p. 39



La segunda presa de **Puentes** se levantó rápidamente; en 1875 empiezan las obras y 3 años más tarde ya se calan compuertas, aunque no se dará por terminada hasta 1791. Era de gravedad, con un perfil de aguas abajo formado por dos tramos de pendientes distintas, parcialmente escalonado. Estaba construida con mampostería trabada con mortero de cal hidráulica y revestida con sillería de gran formato engrapada. La planta recta se alargaba con dos aletas laterales vueltas hacia aguas arriba, alcanzando una longitud de coronación de 283m, un espesor entre 46 y 11m y una altura de 50m. Unas medidas excepcionales que la convirtieron en la presa más alta del mundo¹², arrebatando el privilegio a la de **Tibi**.

Durante la construcción, con agua a medio embalsar, se observaron aflorar varias palmeras aguas abajo que pronto remitieron. Martínez de Lara estaba convencido que los limos que arrastraba el Guadalentín acabarían impermeabilizando el lecho arenoso del río; seguramente por este motivo se opuso en alguna ocasión a que se limpiaran los tarquines acumulados. Esta situación reafirmó la opinión de algunas personas contrarias al proyecto. Una de ellas, Joaquín Ibargüen, Ingeniero Jefe del Departamento de Cartagena, emitió un informe alertando del riesgo que suponía la subpresión

Planta, alzados y sección de la segunda presa de Puentes. En la planta se indican los restos de la primera presa y el alzado muestra el arco de descarga abierto tras la rotura
Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo. Muñoz Bravo, Bautista Martín, 1986, pp. 38, 39

12 Fernández Ordóñez (ed.), 1984, p. 351

para la durabilidad de la obra y proponía reforzar el piso con una bóveda invertida.

Una solución como esta tampoco hubiera evitado el desastre de 1802. La presión del agua arrastró los materiales sueltos de la base, sifonando la presa. El agua se llevó la cimentación y socavó la presa hasta una profundidad de más de 16m. Seguidamente se desplomó la parte del paramento apoyado sobre el lecho, dejando el gran hueco en forma de arco de descarga. Los limos acumulados habían reducido la velocidad de filtración del agua en condiciones de bajo embalse, pero la presión de toda la altura aumentó la pendiente piezométrica y la velocidad de las aguas que arrastraron la base arenosa.¹³

Agustín de Betancourt, en condición de inspector General de Caminos, acude al lugar para redactar un informe sobre la rotura de la presa.

“Solo los cimientos fueron la causa de la ruina, que la obra por lo demás tenía condiciones aceptables, y que solo por ciertas grietas de la roca de las márgenes, se presentaban algunas filtraciones a las que no se daba ninguna importancia.”¹⁴

Su informe es detallado e implacable en concluir que la presa tenía una cimentación inapropiada porque el arquitecto proyectista, aún siendo un técnico dotado, carecía de los suficientes conocimientos de hidráulica para acometer obras de este tipo. No bastaba en pensar la cimentación únicamente en función del peso propio. Opina que después de inspeccionada la cerrada sin encontrar el nivel de roca sana se debían haber detenido las obras y buscado emplazamientos alternativos. Desestima, además, reparar la estructura existente, por la dificultad de encontrar suelo firme donde cimentar y por la imposibilidad de solidarizar las partes nuevas con la existente.

Después de analizar las obras necesarias para mejorar la explotación de la presa de **Valdeinferno** y dotar de diques de protección la ciudad de Lorca, aprovecha la ocasión para dar su opinión sobre cual debería ser la actitud y formación del técnico.

¹³ La presa de Mezalocha, construida entre 1718 y 1728 en el río Huerva, se derrumbó parcialmente en 1766. El caso es similar a Puentes II; su cimentación no alcanzaba la roca y el agua arrastró los materiales de la base. Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 627

¹⁴ Agustín de Betancourt. Informe de 16 de julio de 1802. Muñoz Bravo, 1996

“Para proyectar, y dirigir estas obras con acierto, es necesario que vaya una Persona de unos conocimientos más que regulares en la parte teórica y práctica de la Hidráulica, que tenga la docilidad necesaria para instruirse de los mismos Labradores antes de proyectar nada... En suma esta Empresa no se debe mirar como una obra común, en que bastan unos simples principios de Arquitectura, es una de las más delicadas que se pueden presentar en la aplicación de los principios teóricos de la práctica, y por tanto se debe poner mucho cuidado en la elección de la Persona a quien se le confíe, y siendo a propósito se le deben dar la más amplias facultades para que haga cuantas obra crea útiles al bien general de aquellos habitantes, arreglándose a los fondos que puedan ponerse a su disposición, y sin dar oídos a los muchos individuos que clamarán con miras particulares, aparentando el mayor celos por el bien común de la Provincia.”¹⁵

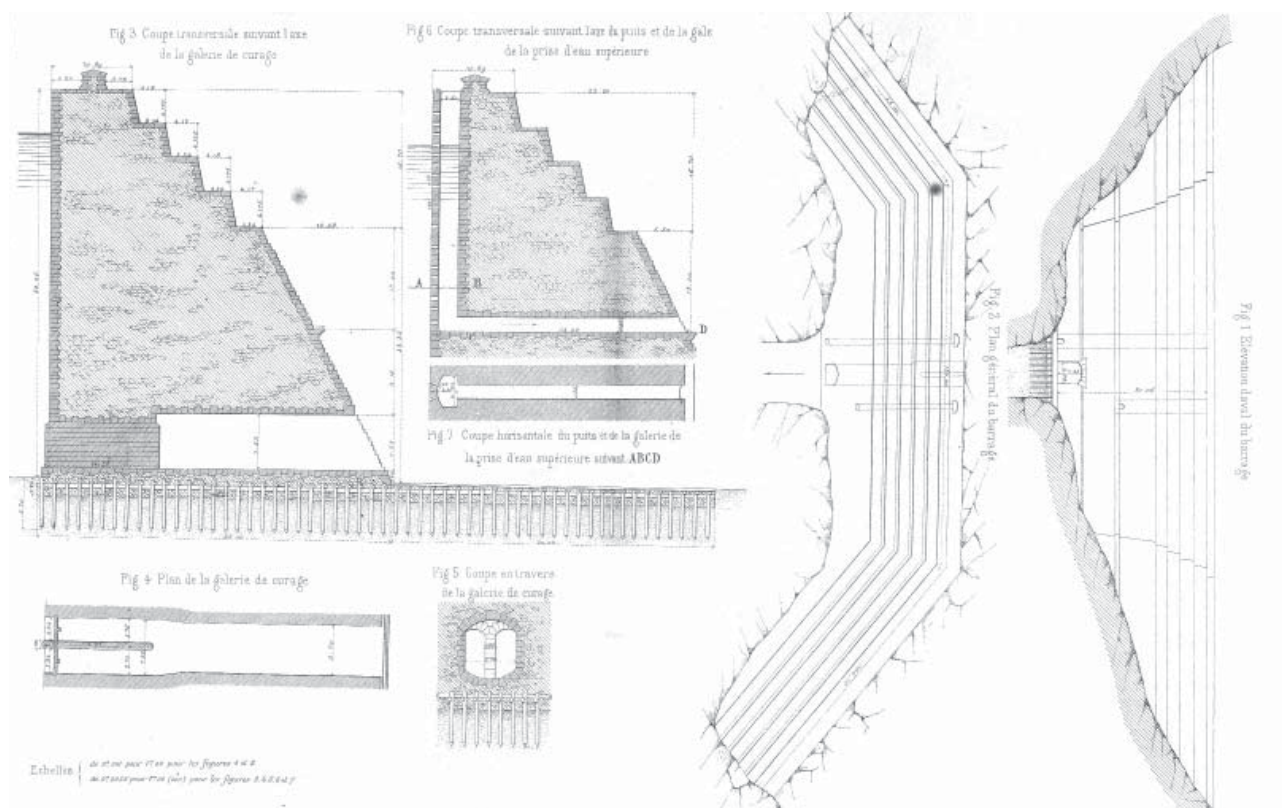
Después de pasar por los Reales Estudios de San Isidro y la Real Academia de San Fernando, Agustín de Betancourt ingresó en la escuela de *Ponts et Chaussées* de París. Fue becado junto a otros alumnos por el conde de Floridablanca, quién estaba convencido que era necesario mejorar la formación de los ingenieros españoles.

“El ramo de ingenieros pide mucha enmienda y mejoría en todos sus partes de fortificación, minas, defensa y ataque de plazas y acampamentos. Hay poca experiencia en los nuestros, y poco estudio comparativamente a otras naciones, y en todo lo respectivo a la hidráulica militar y civil una excesiva ignorancia.”¹⁶

En septiembre de este mismo año 1802, Betancourt fundó en Madrid la Escuela de Caminos y Canales para formar a los técnicos que deberían nutrir la Inspección General de Caminos. Este es un organismo creado por él mismo tres años antes para el proyecto y supervisión de las obras públicas. La *Gaceta de Madrid* publica el anuncio oficial de los exámenes de acceso al primer curso de la nueva escuela, exponiendo los rasgos principales del plan de estudios.

15 Informe dado por D. Agustín de Betancourt sobre los Pantanos y reparos que deben hacerse en Lorca, 1802. Muñoz Bravo, 1996, p. 96

16 Conde de Floridablanca. Instrucción Reservada a observar en todos sus puntos por la Junta del Estado. Capítulo CLIX, 8 de julio de 1897



“Para la instrucción de los que en lo sucesivo hayan de obtener las plazas de Comisarios, Ayudantes y demás de que se forma la Inspección General de Caminos, ha resuelto S.M. se establezcan estudios de los varios ramos en que deben estar versados los que se destinen á dichos empleos. El objeto de este establecimiento será pues la enseñanza de la mecánica y la arquitectura hidráulica, con todas las aplicaciones necesarias a la construcción de caminos, puentes, canales, y a las demás obras y objetos particulares que tienen conexión con ellos: agregándose a esto la delineación de planos y demás que se requiere para la perfecta instrucción...”¹⁷

Sería exagerado afirmar que la rotura de **Puentes** fuera el desencadenante de la apertura de la nueva escuela, puesto que se hizo solo cinco meses después. Pero sí que la ocasión fue

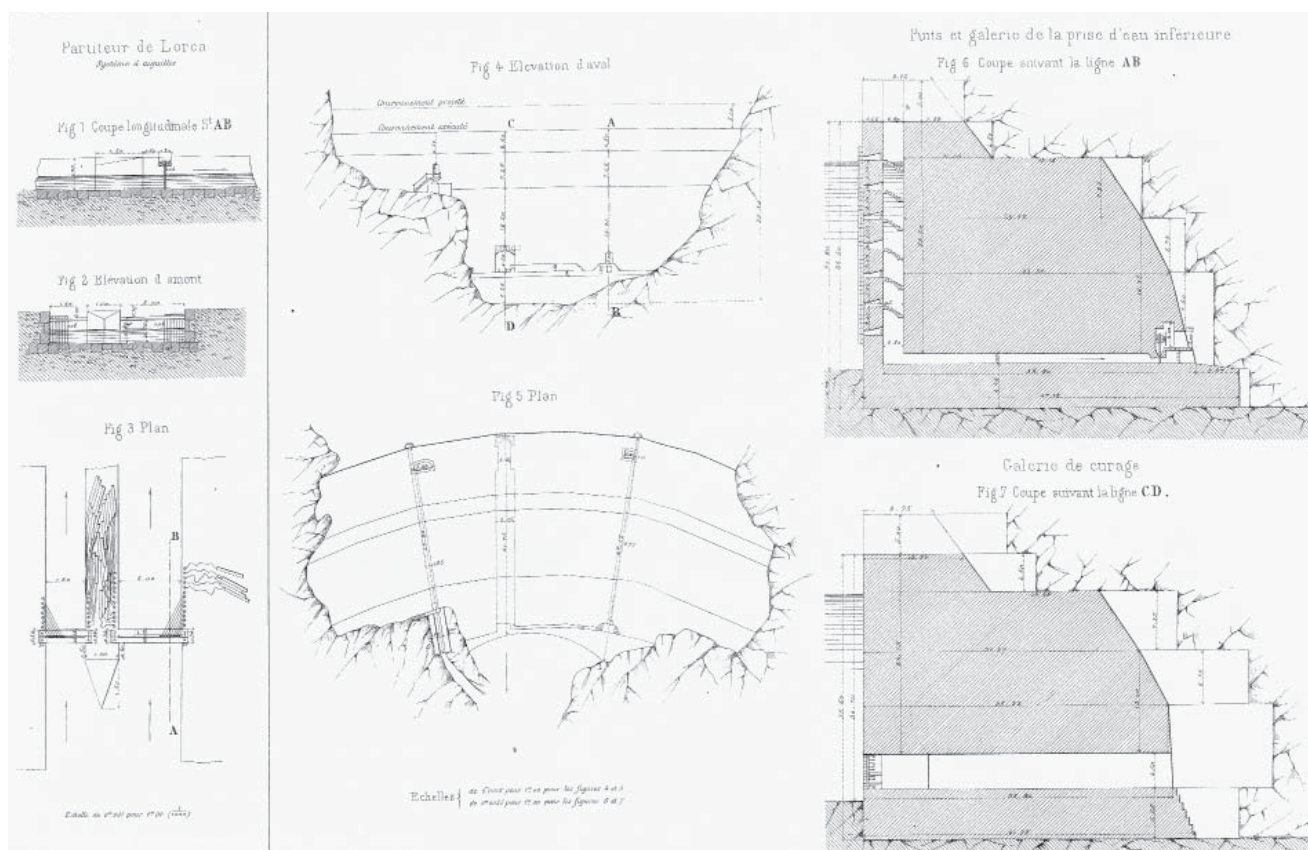
17 Real orden para la fundación de la Escuela de Caminos y Canales. *Gaceta de Madrid*. Madrid: Imprenta Real, 19 de octubre de 1802, p. 1059

Planta, alzado, perfiles y detalles de la segunda presa de Puentes dibujados por Maurice Aymard
Aymard, 1864, Atlas, lámina 13

aprovechada para reafirmar sus intenciones. La formación era un eslabón indispensable en la cadena de cambios encarados a la mejora de las infraestructuras del país. Después del primer curso, Betancourt redacta otro informe advirtiendo de la importancia de disponer de fondos para la contratación de los futuros titulados en la Inspección General de Caminos. Aprovecha la ocasión para avalar la tarea formativa de la nueva escuela, frente a los estudios que hasta el momento existían.

“Pero ¿qué proyectos, qué cálculos, ni qué aciertos se podían esperar de la clase de estudios que han hecho la mayor parte de los sujetos que hasta ahora se han empleado en estas obras públicas, ni qué medios se han puesto para facilitar la instrucción de unas personas en quienes se depositan los intereses, la seguridad, la confianza y una gran parte de la prosperidad de la nación? En España no ha habido dónde aprender, no solo cómo se clava una estaca para fundar un puente, pero ni aún cómo se construye una pared. En la Academia de San Fernando de Madrid, y en las demás del reino que se intitulan de las Bellas Artes, no se enseña más que el ornato de la arquitectura. Los arquitectos se forman copiando unas cuantas columnas, y agregándose á la casa de alguno de la profesión, donde suele ver y oír cuatro cosas de rutina, y con esta educación y estos principios, es examinado por otros que tienen los mismos, queda aprobado y se le da la patente para cometer cuantos desaciertos le ocurran en edificios, puentes, caminos y canales.

Así no debemos admirarnos de que entre todos los proyectos de puentes que existen en la Inspección general y contaduría de Caminos, y aún en los que han pasado á la academia de San Fernando remitidos por el Consejo, ya formados por los arquitectos académicos, por algunos ingenieros ó por otros individuos que se llaman facultativos, no haya, como no hay, uno solo que trate de los medios que se han de emplear para fundarle con solidez: no se halla ninguno que haya dicho las precauciones que se deben tomar para impedir las filtraciones en los malecones ó ataguías, los medios de formar estas, y el cómo se pueden vencer las dificultades que presente el terreno al tiempo de hacer el cimiento; en suma, el que más, se ha contentado con decir alguna palabra general, que nada significa, y consiguiente á esta falta de prevision y conocimientos son los cálculos que han formado del

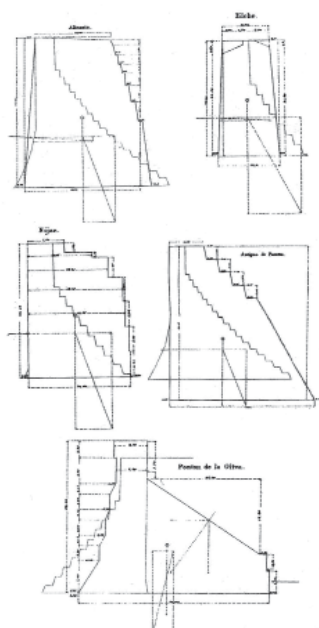


coste que ha de tener la obra, ya formándolos á su antojo, ó desentendiéndose enteramente de todos los gastos de su fundación, y valuándola como si tuviese que hacerse en un terreno seco.”¹⁸

Desde el siglo XVIII los estudios de arquitectura constituían una enseñanza reglada en la Real Academia de Bellas Artes con profesores tan ilustres como Ventura Rodríguez o el mismo Juan de Villanueva. El debate interno sobre la preocupación de la insuficiente preparación de los técnicos que en ella se formaban, se acentuó con la creación de la Escuela de Caminos y Canales. En 1803, el Marqués de Espeja, viceprotector de la Academia se mostraba muy crítico con los estudios impartidos.

18 Agustín de Betancourt. “Noticia del estado actual de los Caminos y Canales en España, causas de sus atrasos y defectos, y medios de remediarlos en adelante; dada al Excmo. Sr. D. Pedro Cevallos por D. Agustín de Betancourt: año de 1803”. Betancourt, 1869, núm. 6, pp. 70-71

Planta, alzado perfiles y detalles de la presa de Valdeinfierno dibujados por Maurice Aymard
Aymard, 1864, Atlas, lámina 12



Perfiles comparados de las presas de Tibi, Elche, Níjar, Puentes II y Pontón de la Oliva
Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 636

“...no habiendo la Academia, a pesar de sus continuas providencias, otro punto de la delineación práctica de los órdenes arquitectónicos... Nada se les advierte sobre la edificación y distribución, partes tan esenciales de la arquitectura civil; por lo que hace a la Hidráulica ninguna instrucción se les dá, y así cuando se ven empeñados en alguna comisión para construir un puente, una presa, un molino o una cañería, un canal de riego u otra obra cualquiera que no esté limitada a una decoración arquitectónica, se encuentran las más veces sin la menor instrucción para desempeñar semejantes encargos, tan propios de su arte y expuestos a cometer los mayores absurdos en perjuicio del público y descrédito de este Cuerpo.”¹⁹

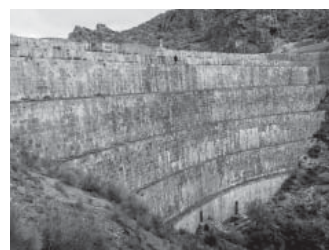
Hubo que esperar hasta el reinado de Isabel II para establecer las bases de unos estudios de arquitectura más acordes con las necesidades del país. El ministro de Gobernación, Pedro José Pidal fue uno de los impulsores del Real Decreto de 25 de septiembre 1844 que reorganizaba los estudios de la Academia, convencido que la arquitectura es la que “tiene menos perfecta enseñanza; y para establecerla cual conviene, es preciso, no solo ampliarla teórica y prácticamente, sino también sujetarla a todas la formalidades de una carrera científica.”²⁰

En 1845 se impartió el primer curso de los estudios especiales de arquitectura que se estructuraba en dos ciclos e incorporaba asignaturas como cálculo diferencial, mecánica racional, análisis de materiales de construcción o arquitectura hidráulica. La rotura de **Puentes**, por lo tanto, coincidía y reforzaba un punto de inflexión en la formación de los técnicos españoles. Se abrió un camino especializado para quienes desempeñarían proyectos de obra civil, lo que supuso un empuje al debate interno que debía poner las bases de unos estudios de arquitectura que aunaran técnica y bellas artes.

Las presas más relevantes en los siglos XVIII y hasta mediados del XIX se proyectaron en base a cálculos intuitivos, con gran dificultad para disponer de datos fiables del emplazamiento y

19 Muñoz Bravo, Bautista Martín, 1986

20 Navascués Palacio, 1996, p. 25



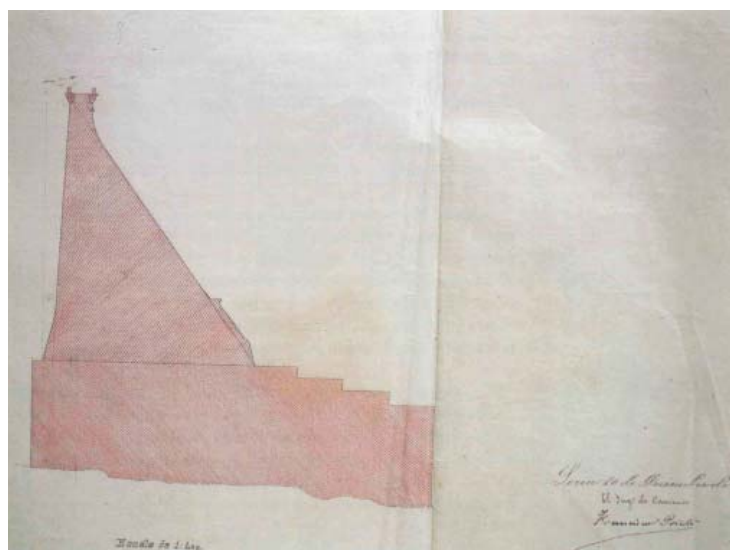
con limitaciones técnicas y constructivas. A pesar de la pericia y atrevimiento de los proyectistas, la construcción era en gran parte experimental y el fallo de una de las variables que intervienen, desde la toma de datos hasta la protección de la obra durante la construcción, podían dejarla inservible.

Puentes II, como se ha apuntado, acabó arruinada por una cimentación inadecuada. Difícilmente se hubiera podido cimentar correctamente con los medios técnicos de la época. Un mayor conocimiento de los principios hidráulicos hubiera aconsejado, como mínimo, paralizar los trabajos. La presa de **Valdeinfierno**, también por una falta de conocimientos, se equipó con desagües mal dimensionados y de difícil accionamiento, por lo cual no entró en servicio hasta las reformas efectuadas a finales del siglo XIX. La presa de **El Gasco** era una pieza del canal del Guadarrama que había de unir por vía navegable Madrid con Sevilla. Se proyectó una presa de gravedad construida por grandes cajones de mampostería rellenos de arcillas. Una avenida durante la construcción vertió por coronación y la arcilla expandida rompió parte de los cajones, dejando la obra arruinada. La presa de **Níjar**, en Almería, construida por el arquitecto Jerónimo Ros se proyectó en base a un cálculo de aportaciones sobredimensionado. A pesar de intentar corregirlo a través del desvío de otros barrancos tardó mucho en llenarse y a finales del siglo XIX estaba completamente aterrada. La presa del **Pontón de la Oliva** es el embalse de cabecera del Canal de Isabel II para el abastecimiento

Presa de Valdeinfierno recrecida
Fotografía P. Menchón, ca. 1920. Archivo Municipal de Lorca. Fondo fotográfico

Presas coetáneas de El Gasco, Níjar y Pontón de la Oliva

Fotografía José Antonio Agudelo Zapata, David Boixader Cambroner / Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (ed). La obra pública patrimonio cultural, 1986, p. 134



de Madrid, proyectada por los ingenieros Juan Rafo y José Rivera. Las filtraciones detectadas después del primer llenado obligaron a ejecutar grandes trabajos de impermeabilización. La situación no mejoró y la infraestructura quedó abandonada al entrar en servicio la presa de **El Villar**

Pasadas casi ocho décadas de la rotura de **Puentes II**, se inicia la construcción de una nueva presa y en el mismo lugar. Era una obra promovida por la iniciativa privada con una concesión a cuarenta años. Fueron necesarias varias sequías y riadas, especialmente la de Santa Teresa del 15 de octubre de 1879²¹, y un cambio generacional para aparcar el miedo a la construcción de otro pantano. Los motivos del accidente estaban claros y los técnicos mejor preparados para afrontar el reto. **Puentes III**, también conocida por Nueva de Puentes, sería la primera en dar un servicio prolongado en el estrecho después de casi doscientos cincuenta años del inicio de la primera.

Las obras se iniciaron en 1881 con un proyecto del ingeniero Francisco Prieto Caules²². Se ubicaba unos 200m aguas abajo de los restos de la presa arruinada, la cual se aprovecharía parcialmente como cantera²³. Evidentemente, se puso especial atención

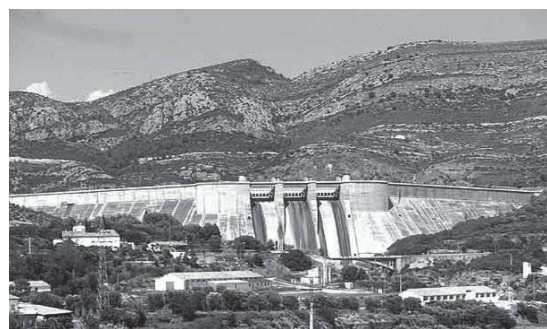
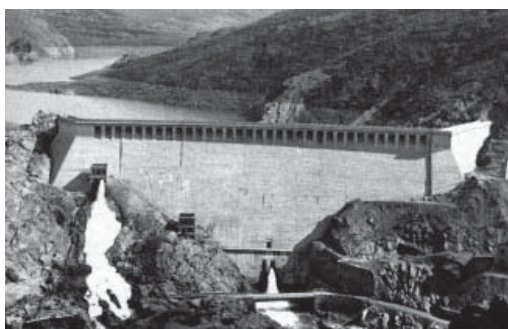
Sección del cuerpo de la presa y su cimentación. Plano de Francisco Prieto Caules, fechado en diciembre de 1883

Muñoz Bravo, Bautista Martín, 1986, p. 130

21 Plan de defensa 1870

22 En 1876 se presentó un primer proyecto firmado por Miguel Martínez Campos y Manuel Pardo

23 En la construcción de los cimientos se emplearon materiales de la presa anterior,



en la cimentación para asegurar que se asentara sobre roca sana. Se excavó el lecho de río en una longitud de 72m y una profundidad de unos 24m. Para contener las gravas y arenas se construyeron dos grandes muros transversales que se iban recalzando a medida que avanzaban los trabajos. Además fue necesaria la instalación de de dos bombas centrífugas para la extracción del agua que afloraba²⁴. La sección transversal por la parte central pone en relieve este esfuerzo, superando sobradamente el volumen de la cimentación al del cuerpo de la presa sobre el nivel del cauce.

Es una presa de gravedad de perfil triangular, construida con paramentos de mampostería de cal revestidos de sillería. Tiene una planta curva de 240m de radio y dos aletas rectilíneas que reculan hasta alcanzar los puntos más altos de la cerrada, sumando una longitud de coronación de 382m. Observada desde aguas abajo, se percibe un paramento de aspecto convexo, aparentemente contrario a la lógica de la contención del agua. Son escasas las presas con un trazado similar, entre los que destacan la presa de **La Requejada**, terminada en 1940 en el río Pisuerga, y **El Grado I**, de 1969 sobre el Cinca. Esta última presenta un tramo central relativamente corto, presidio por el aliviadero, que puede entenderse como un chaflán entre el par de largas aletas.

El trazado en planta da lugar a una singularidad formal, la aparición de dos esquinas en el cuerpo de la presa. Es un hecho poco habitual que remite a la imagen de una fortificación; una percepción acentuada porque el coronamiento de **Puentes III** sobresale de las laderas próximas, dando la impresión de que la

en cantidad inferior a la prevista. Fernández Ordóñez (ed.), 1984

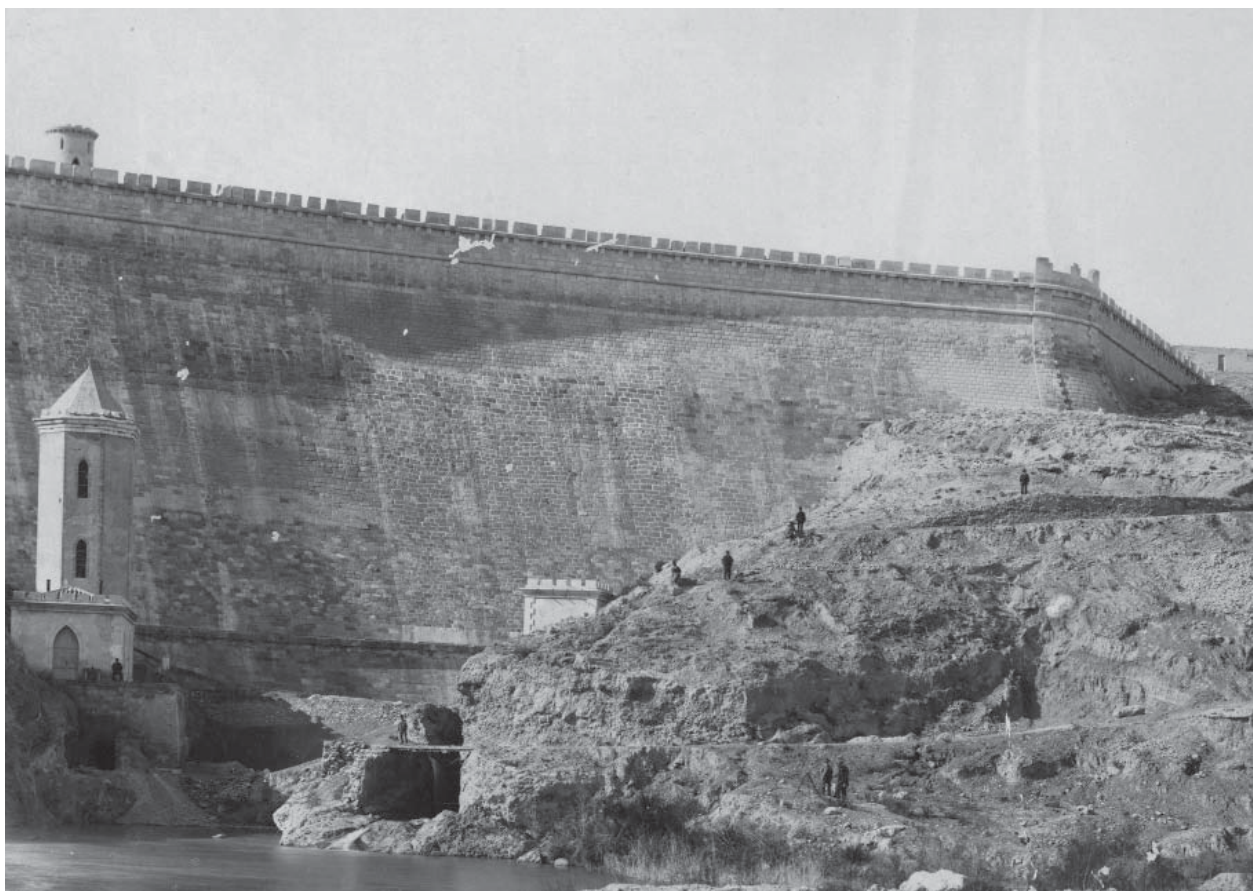
24 Muñoz Bravo, Bautista Martín, 1986



construcción colmata la topografía. Las esquinas están resueltas con una figura de revolución, acordando tangencialmente la curvatura del paramento central con los tramos laterales; todos presentan un talud en la cara posterior de 0,71 y prácticamente verticales en la anterior.²⁵

En cada articulación del paramento sobresalen dos cadenas de sillería, justo en el punto de encuentro con los planos tangenciales. Así, la esquina cobra autonomía y deviene un volumen en lugar de una arista. Este detalle constructivo la singulariza como parte esencial y pone de manifiesto el reto geométrico que supone el encuentro de dos planos peraltados. Además explicita el esfuerzo constructivo de este caso especial, donde la esquina

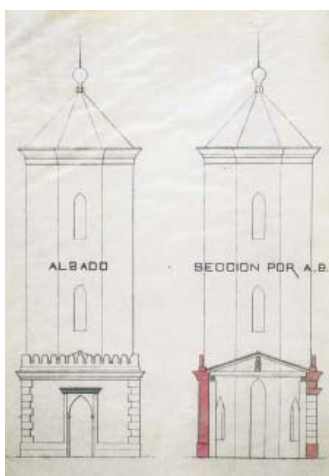
²⁵ El paramento aguas abajo se compone de tres partes diferenciadas: un zócalo resuelto con dos pendientes, un cuerpo principal y un tramo final vertical unido de tangencialmente al anterior



asume el papel de ligado de los distintos tramos de muro que reciben empujes horizontales.

La pericia que implica la construcción de una esquina, la singulariza como elemento representativo de muchos edificios. El detalle constructivo es resuelto como parte básica de la composición del volumen. Pero la esquina también adquiere un papel activo en la configuración formal de un cruce de calles, permitiendo la visión de varias fachadas al mismo tiempo. La presa de Puentes III se emplaza de forma oblicua a la normal del río, buscando las partes más altas de las laderas con el mínimo trazado. Desde aguas abajo la esquina preside la presa, siendo la parte más próxima y a efectos de la perspectiva la que mayor altura aparenta. Cabe tener en cuenta que la presa se sitúa en un valle poco profundo y el acceso se hacía desde cotas inferiores.

Fotografía panorámica de la tercera presa de Puentes desde aguas abajo con el paramento, la torre del acumulador y el aliviadero vertiendo sobre la ladera
Archivo Municipal de Lorca. Fondo fotográfico



Alzado y sección de la torre del acumulador que alojaba la bomba a vapor para el accionamiento de las compuertas de fondo

Bautista Martín, Muñoz Bravo, 1986, p. 134

Paramento aguas arriba de la tercera presa de Puentes con la torre de toma de aguas

Fotografía J. Espín. Archivo Municipal de Lorca. Fondo fotográfico

Cuerpo de la presa de Puentes III definido por un paramento curvado con aletas

Fotografía J. Espín. Archivo Municipal de Lorca. Fondo fotográfico



La visión conjunta de tres caras y dos esquinas dan a la presa la imagen de un edificio. En vez de percibirse como un elemento plano se entiende como un volumen, como una fortificación que asume el papel de proteger la ciudad de Lorca de las temibles riadas y que a su vez atesora cantidades nunca soñadas de agua. A este efecto contribuye la formalización del coronamiento original de la presa, justo en el último tramo del paramento que es de desarrollo vertical. Se resuelve con dos molduras continuas, una de sección semicircular y otra rectangular con tornapuntas. El conjunto se colmata con almenas rectangulares.

La presa cuenta con un grosor de 36m en la base y 4m en la coronación y una altura de 48m sobre el cauce del río. Si a esto le sumamos la cimentación resultan unos 68m, lo que la convierte en la presa más alta del momento en España hasta la construcción de **Talarn** en 1916. Además, incorpora otras novedades como el accionamiento hidráulico de las compuertas de desagüe por medio de una máquina de vapor.

Para ubicar el acumulador se construye aguas abajo, en la ladera derecha, una torre de fuste octogonal rematada con una cubierta a ocho aguas. Cuenta con una puerta y dos ventanas; unos elementos, a priori irrelevantes, que permiten leer la escala de la presa. Son las únicas pistas, junto con las almenas que la rematan, de la medida humana. Incluso la torre, de proporción vertical tres a uno y situada más cerca, se ve insignificante en relación con el descomunal paramento.

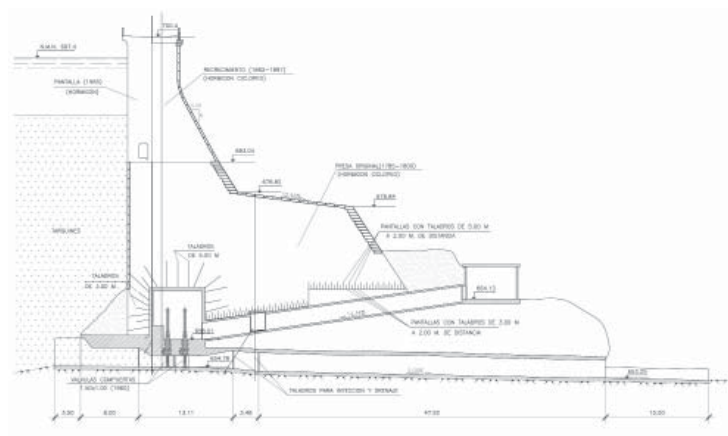


También en la ladera derecha parte el canal de riego alimentado por una torre de toma circular, de 2,7m de diámetro, adosada en paramento aguas arriba. La torre dispone de ventanillas a distintas alturas para la captación de agua convenientemente protegidas para evitar la entrada de objetos flotantes. El agua sobrante vierte separada del pie de presa formando una cascada sobre las rocas de la ladera, imagen del agua domesticada que ha de fertilizar el campo lorquino.

La presa, además, dispone de tres galerías de fondo dotadas de compuertas para la limpia de los entarquinamientos, una de las cuales aprovecha el túnel de desvío utilizado para la construcción de la segunda presa. Asimismo se adapta un collado, situado en la margen derecha entre la presa actual y la anterior, como aliviadero en superficie para la evacuación de unos 300m³/s.

La aportación de limos del Guadalentín y la irregularidad en las limpias habían reducido la capacidad inicial de 36hm³ a menos de la mitad en los años sesenta. Para recuperar una parte de su capacidad resultaba más económico aumentar la altura del paramento que vaciar el pantano y excavar el fondo. Se ejecutó un recrecimiento de poca altura “por no dañar la estética”²⁶, absorbiendo las almenas y eliminando la caseta de acceso al pozo de toma. Para mejorar la capacidad de evacuación de avenidas se construyó un nuevo aliviadero en pozo vertical con compuertas en la ladera izquierda.

26 El autor del proyecto fue Julio Muñoz Bravo, ingeniero de la Confederación hidrográfica del Segura. Muñoz Bravo, Bautista Martín, 1986, p. 181



Mientras tanto, **Valdeinfierno** había perdido gran parte de su capacidad y permanecía inacabada con los trabajos abandonados desde poco después de la rotura de **Puentes**. Entre 1892 y 1897 se recrece la estructura en 15m sobre los 30m existentes, siendo una de las obras de ampliación más importantes hasta el momento²⁷. Ramón García Hernández concibe un recrecimiento ejecutado con un muro de planta curva y 4m de espesor, acordado tangencialmente con el peralte del paramento posterior y retrasado 2,75m respecto la cara anterior²⁸. La esbeltez del último tramo contrasta con la ancha base de trazado heptagonal de 26m de altura y entre 39 y 31m de espesor. Se construye en mampostería y caras vistas de sillería careadas in situ²⁹; ya no mantiene el dentado superficial de la obra primigenia en forma de escamas, de buen comportamiento frente al vertido por coronación.

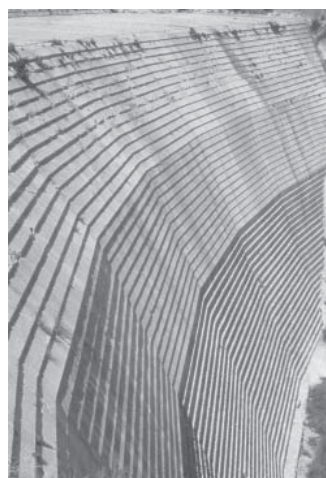
Estas obras coincidieron con los últimos trabajos en **Puentes** y levantaron la suspicacia de sus concesionarios por considerarse afectados económicamente. En los sesenta se reforzó el recrecimiento para adaptarlo a la normativa de grandes embalses, que lo consideraba demasiado esbelto, con una pantalla sobre el retranqueo existente en la cara aguas arriba. Se impermeabilizó el vaso y se construyó un nuevo aliviadero en el estribo derecho

Perfil de la presa de Valdeinfierno con los dos recrecimientos posteriores y los desagües de fondo
Confederación Hidrográfica del Segura

27 La relación entre el recrecimiento y el cuerpo existente en Valdeinfierno tiene ciertos paralelismos con la presa de Almansa, ampliada en el siglo XVIII

28 Para garantizar un mejor repartimiento de las presiones en la base según se especifica en la memoria del proyecto del ingeniero. Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 629

29 Se utiliza el cemento *Portland* para las partes en contacto con el agua. Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 630



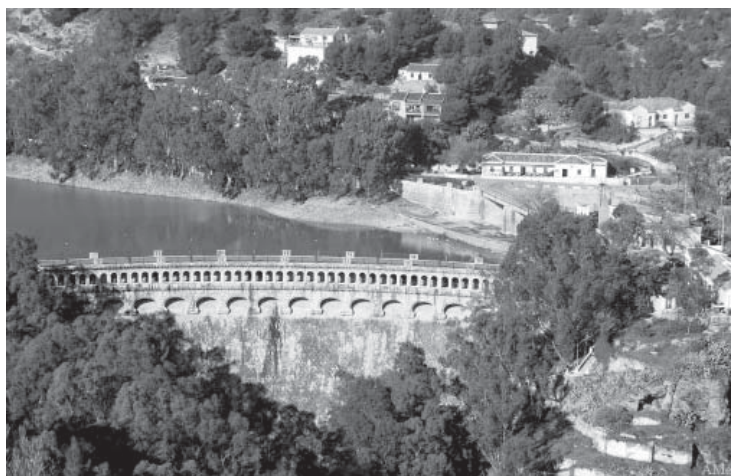
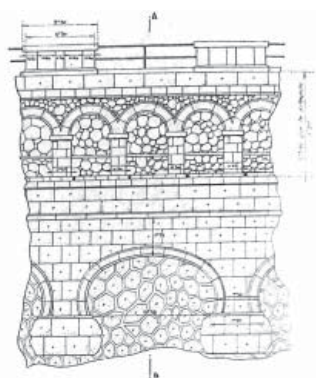
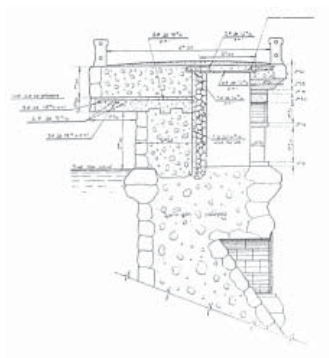
consistente en dos ramas simétricas que convergen en un túnel de descarga³⁰. El conjunto de operaciones buscaban mejorar la seguridad pero también poder explotar la presa. La idea pionera de gestión conjunta de dos embalses, proyectados simultáneamente por Jerónimo Martínez de Lara en 1785, entra finalmente en servicio.

Los recrecimientos son obras habituales para aumentar la capacidad de almacenamiento o la altura del salto para la producción hidroeléctrica. En los valles más abiertos, un metro más

³⁰ La operación se completa con la construcción de un camino y una línea eléctrica hasta la presa

Valdeinfierno desde aguas abajo, detalle de la superficie escamada del primer tramo y la pantalla de hormigón correspondiente al tercer recrecimiento

Gil Olcina (ed.), 2004, p. 307 / Fernández Ordóñez, 1986, p. 80 / Archivo Municipal de Lorca. Fondo fotográfico



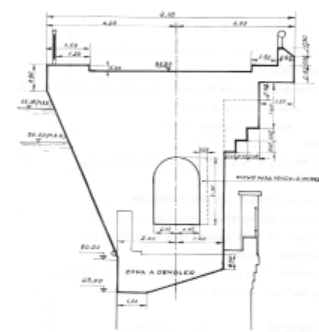
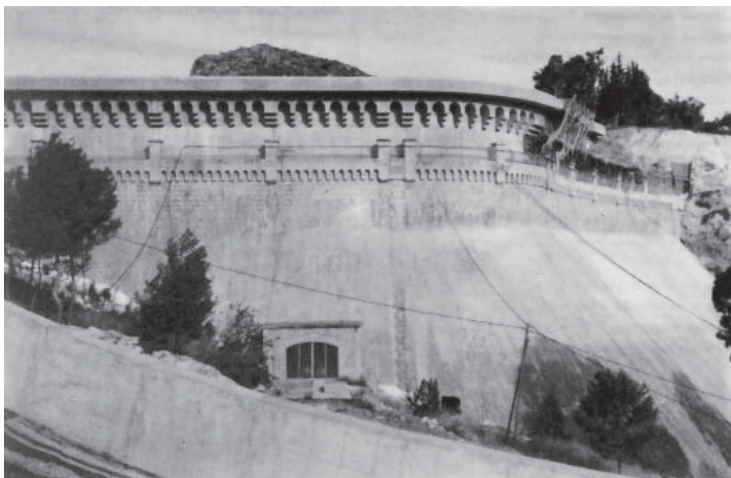
de agua retenida multiplica el volumen de embalse. Interesantes son aquellos proyectos que aprovechan la oportunidad para completar la coronación de la presa existente; especialmente cuando prevalece la idea de reconfigurarla en conjunto a partir de una actuación puntual, sin una voluntad explícita de diferenciar claramente el añadido. Este trabajo tiene una parte de carácter compositivo fuertemente vinculado a los medios constructivos elegidos, es decir, se debe al mismo tiempo a los requerimientos específicos, al sistema empleado y a la incidencia en el conjunto. En cierta medida, comparte algo con las habituales remontas en edificios existentes, mejor resueltas si aúnan los retos constructivos y compositivos.

En este sentido, es relevante el recrecimiento de la presa del Chorro en el río Guadalhorce, inaugurada en 1921. Posteriormente fue rebautizada como presa **Conde de Guadalhorce**, título que ostentaba Rafael de Benjumea, promotor de la obra. El añadido de algo más de 4 metros de altura, ejecutado en 1947, no tiene la voluntad de diferenciarse del resto y podría parecer que formaba parte de la obra inicial. Consiste en una arquería continua apoyada sobre el anterior acabado de ménsulas lobuladas que es rematada con una gran cornisa replicando la existente. La galería se justifica por la necesidad de mantener la anchura de la calzada superior a pesar de la disminución del perfil del paramento a medida que crece en altura.

Otro caso representativo es la presa de **La Cierva**, en el río Mula, de una altura de 59m. Fue construida en 1928 con

Recrecimiento de la presa Conde de Guadalhorce, antiguamente El Chorro

Fotografía Antonio Mérida / Juan-Aracil Segura, 1949, pp. 444, 445



mampostería y hormigón ciclópeo. El aterramiento había disminuido casi un tercio de su capacidad en 1987. Se ejecuta un recrecimiento con hormigón que deja un paso perimetral en el arranque y recupera la anchura en el tablón superior. El voladizo se resuelve con una cornisa similar a la existente pero a otra escala, elegida a partir del estudio de distintas posibilidades. El retraso del nuevo plano vertical respecto el existente dota al conjunto de una potente coronación que refuerza la traza en S de la planta, resultado de la suma de la presa, el dique sobre la ladera y el aliviadero reformado.

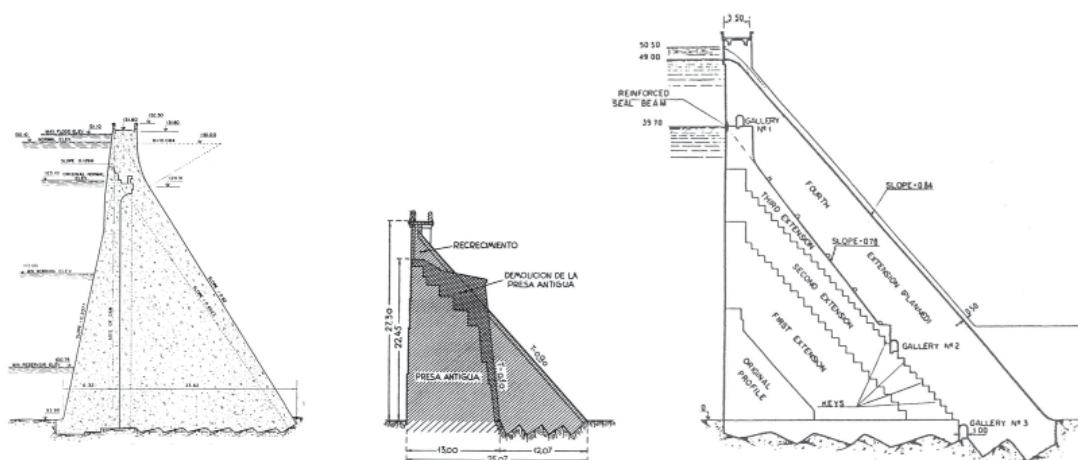
En **Burgomillodo** fue preciso aumentar la sección del cuerpo de la presa para asegurar la estabilidad del recrecimiento³¹. Esta es la primera presa de hormigón con contrafuertes de España, construida en 1929. El refuerzo consistió en el relleno de los intersticios del paramento aguas abajo lo cual implicó un cambio de su tipología, pasando a ser de gravedad. El proyecto de recrecimiento de la presa de **Santolea**, en cambio, duplica el cuerpo de la presa por la parte de aguas arriba. De esta forma se mantiene el paramento de sillería posterior complementada ahora por una coronación de hormigón. En ambos casos resulta una nueva presa, fruto del trabajo solidario del cuerpo existente con el nuevo. Bien diferente, a nivel conceptual, era el proyecto para la restauración de la presa de **Proserpina** basado en la adición de un nuevo dique aguas abajo. El dique quedaba escondido por un



Recrecimiento de la presa de La Cierva y estudio de alternativas para la cornisa

Alonso Franco, Polimón López (ed.), 1992, p. 41 / Aguiló Alonso, 2002, p. 145

31 La presa se recreció para aumentar la producción hidroeléctrica y la capacidad del aliviadero

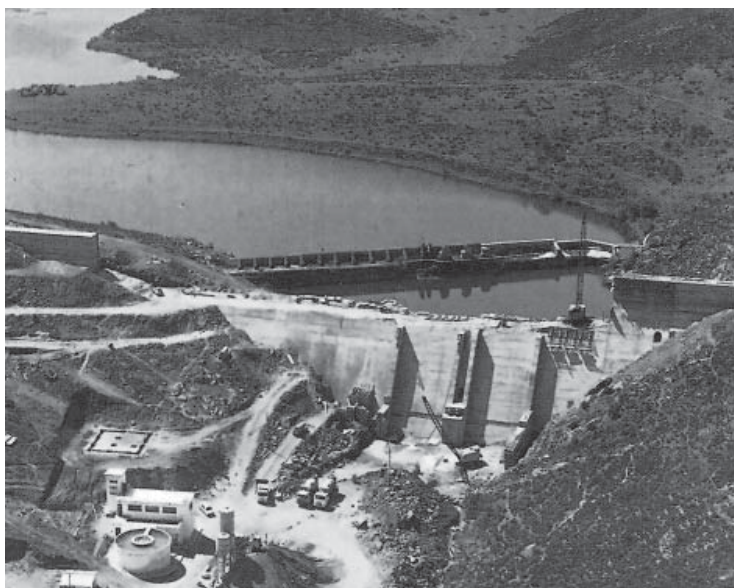


espaldón de tierras con lo que no dejaba ninguna huella visual. Aún así, la intervención asumía todas las cargas, relegando la fábrica romana a simple revestimiento. Finalmente se optó por inyectar cemento en la fábrica aumentando su capacidad resistente e impermeabilización.

El aumento de capacidad y seguridad del aliviadero también es una operación habitual en presas existentes. Si hay espacio suficiente se construye lateralmente, sin interferir el paramento. La presa del **Águeda** se proyectó con un aliviadero lateral que durante la obra ya se mostró insuficiente. Al carecer de espacio se recortó la parte central superior del paramento para permitir el vertido libre sobre el cuerpo escalonado. La reforma la convirtió en una de las primeras presas vertedero, precedida solo por **Almadanes** y **Gaitanejo**. Posteriormente se condicionó dotándolo de una superficie lisa con paredes laterales y equipándolo con tres compuertas. El resultado de este proceso de continuas adaptaciones es similar al de algunas presas posteriores como el caso de **Puebla de Cazalla** construida con hormigón compactado con rodillo (HRC) y provista de un aliviadero central sobre el mismo cuerpo.

Las mejoras introducidas en **Puentes III** no evitaron que vertiera por coronación durante la riada de Santa Teresa en 1973, ocasionando varios muertos y daños en las aletas laterales y construcciones auxiliares. El *Plan general de defensa de la cuenca hidrográfica del Segura* incorporaba cinco alternativas de recrecimiento de la presa de **Puentes**. La propuesta más definida se basaba en la

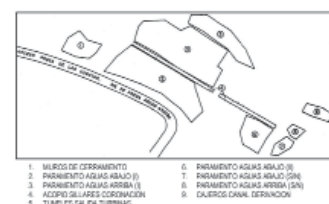
Recrecimientos de las presas de Burgomillado, Arguís e Irabia
Díez-Cascón, Bueno, 2001, pp. 781, 676, 672



construcción de un dique de escollera caliza con núcleo de arcilla, aguas abajo de la presa existente. No se trataba de un paramento exento, como en el caso de **Manzanares el Real**. La escollera se apoyaba sobre el cuerpo existente formando una nueva presa, una propuesta similar al proyecto de recrecimiento para **Yesa**. Finalmente se consideró otra opción, la construcción de una nueva presa, que ya sería la cuarta en el estrecho de Puentes.

La coexistencia de infraestructuras de distintas épocas compartiendo emplazamiento es un hecho habitual, como sucede con los puentes superpuestos en una misma vaguada. En el caso de las presas, normalmente la nueva construcción se sitúa aguas abajo de la antigua, anegándola completamente. A diferencia de los puentes, por ejemplo, el dique antiguo desaparece del paisaje y pierde su uso. Lo ilustran las parejas de **Peña del Águila** (1903) y **Villar del Rey** (1987) en el río Zapaón, **Guadalcacín I** (1917) y **Guadalcacín II** (1993) en el Majaceite, **Montoro** (1954) y **Montoro III** (2007) o la espléndida **albuera de Castellar** bajo las aguas de presa de **Zafra**.

Solamente durante las obras se pueden observar las dos en conjunto. La comparación saca a la luz la diferencia de tamaño, pero sobretudo de escala. La escala la otorgan las proporciones en relación al emplazamiento; elegir la cerrada continua siendo fundamental, pero los avances técnicos amplían las posibilidades



Presas a punto de anegar de Castellar, Peña del Águila y Montoro
Fotografía Paisajes Españoles. García Diego, 1994, p. 63 / Confederación Hidrográfica del Guadiana / Construcciones Alpi

Acopio de los sillares procedentes del desmontaje de la presa de La Verdeja
Rubín de Célix, Lázaro Martín, García Martín, 2000, p.13



permitiendo una adaptación del entorno “a medida”. Otro aspecto influyente es la huella que deja en la obra el sistema constructivo, básicamente en función de si está dimensionado a partir de la mano del hombre o de la máquina. También el cambio dimensional y cuantitativo de los elementos auxiliares, especialmente aquellos destinados a la evacuación y regulación del agua, cada vez más estudiados y mayor dimensionados.

Precisamente, para evitar la desaparición de la presa de **La Verdeja**, se desmotó pieza a pieza antes del llenado del nuevo embalse de **Castro de las Cogotas** en el río Adaja. Ahora sus restos yacen en un descampado formando un archipiélago de conjuntos de sillares agrupados según la parte de la que proceden. Es un dibujo plano de las superficies de la presa -el relleno de mampostería hidráulica se desechó- que recuerda poderosamente a una construcción recortable en papel. Permanece desde 1989 a la espera de encontrar una cerrada adecuada y sobretodo un uso que justifique la reconstrucción. Al fin y al cabo, el uso es el mejor garante para la conservación de una obra, sea cual sea su naturaleza.

Sin embargo, **Puentes IV** se emplaza justo aguas arriba, conservando su antecesora. En el campo de las presas es un fenómeno, por lo menos, singular. Lo es porqué situar la nueva aguas abajo tiene una clara ventaja durante el proceso constructivo



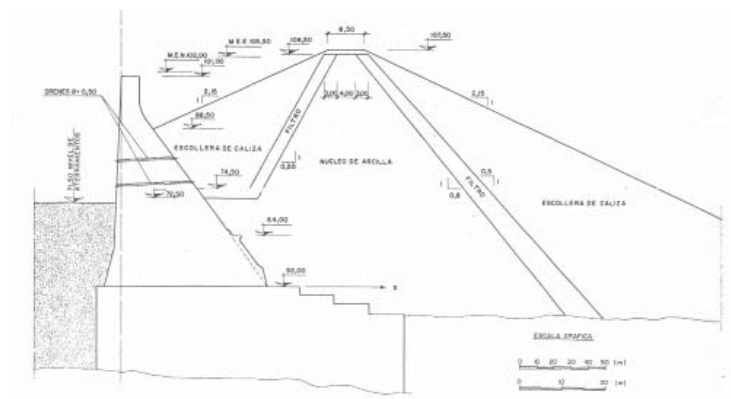
porque se puede trabajar a resguardo del agua³². Por el contrario, antes de cimentar es necesario construir una ataguía, un dique que desvía el agua hacia túneles o canales laterales que en muchos casos se aprovecharán después como aliviaderos. La poca altura de la ataguía ya prevé que las avenidas puedan rebasarla, interrumpiendo el proceso de obra en temporadas lluviosas e intentando minimizar los desperfectos.

Los ingenieros Jesús Granell y Antonio Maurandi proyectan una presa de gravedad con trazado recto y dos aletas también rectilíneas, finalizada el año 2000. Se asemeja en planta a las dos anteriores, aunque la tercera difiere por tener el paramento central curvado. La directriz de la aleta izquierda sigue la de la presa antigua, pero el cuerpo principal mantiene una posición oblicua situándose de forma perpendicular al cauce del río. Su altura es de 62m sobre zócalo y tiene una longitud de coronación de 363m. La capacidad de embalse resultante es algo menos de 26hm³, lo que representa una pérdida del volumen de agua de un 25% respecto al de finales del siglo XIX, a pesar de ser una presa que supera en 14m la altura de la anterior.

La última de **Puentes** es una presa de gravedad con un perfil anterior prácticamente vertical a excepción del talón de base. El paramento posterior tiene talud de 0,82, un poco menos inclinado que su vecina. El tramo superior del paramento es vertical adaptando tangencialmente el cuerpo y el vuelo de la ménsula de coronación. Este remate proyecta una línea de sombra sobre la pared que remite al coronamiento de la presa antigua. Las

Vista aérea de los dos pantanos donde pueden leer las cerradas adoptadas por cada presa
Gómez Ordóñez, Grindlay Moreno (ed.), 2008, p. 80

32 En este caso la ataguía debía asegurar el suministro de agua a los regantes durante la construcción de la nueva presa



La tercera presa de Puentes con el aliviadero tipo morning glory en el estribo izquierdo, aprovechado por la nueva presa

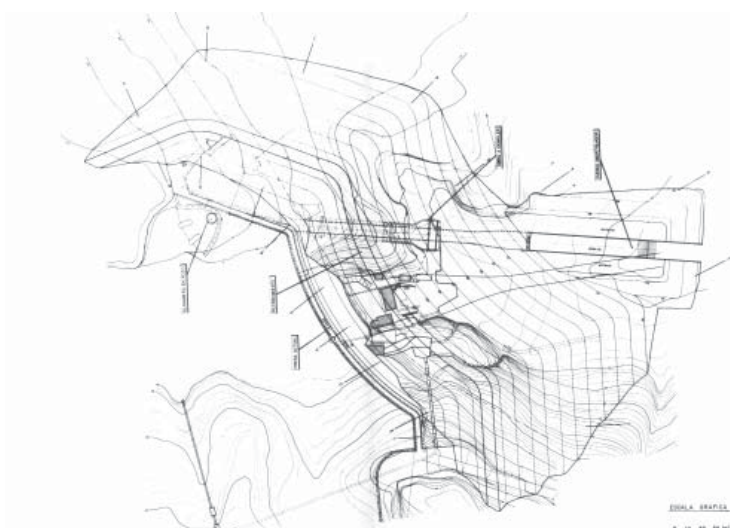
Trabajos de construcción del paramento de la última presa de Puentes. Puede observarse el agujero del aliviadero en pozo vertical
Granell Vicent [et al.], 1997, pp. 152, 153

Proyecto de José Bautista Martín para el recrecimiento de Puentes III con un paramento de escollera aguas abajo

Plan general de defensa: avenidas de la cuenca del Segura: Tomo XXII: Recrecimiento de la Presa de Puentes. Planos 6.9.1 y 6.9.2. Confederación Hidrográfica del Segura

Planta y perfil de la cuarta presa de Puentes y la relación que establece con su predecesora

Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 707 / Confederación Hidrográfica del Segura



esquinas con las aletas laterales también se resuelven de forma tangencial.

Frente el monolitismo del hormigón en masa de **Puentes IV**, acentuado por los acuerdos tangenciales de la sección, el perfecto trabajo de sillería de la antigua presa sugiere una construcción hecha pieza a pieza. Su tamaño y encaje remite al trabajo manual, a pesar de la incipiente mecanización que se introdujo en las obras gracias a un novedoso sistema de vagonetas accionadas con máquina de vapor. La piedra proveniente de la cerrada y de la segunda presa se mimetiza con el entorno rocoso, acentuado por el paso de los años bajo las mismas condiciones climáticas. En contraposición, la presa nueva aparece como un artefacto foráneo o sobrepuesto. En la superficie quedan las marcas verticales de los distintos bloques en los que está construida y las señales horizontales de las tongadas de hormigón³³. Ahora también permanece a la vista la pantalla de hormigón realizada en los años sesenta sobre el paramento anterior de la presa antigua, asegurada contra el muro de mampostería con una trama de anclajes al tresbolillo.

Compartir trazado y perfil parecidos las pone en relación, pero su proximidad física impide verlas por separado e induce a leerlas como una unidad superior. La única forma de observar en toda su altura el paramento aguas abajo de la nueva presa es en el espacio intermedio entre las dos. Este es un curioso intersticio de forma acuñada en planta y sección, entre el paramento posterior de una, casi vertical, y el paramento inclinado de otra. Es el resultado de la aproximación de dos estructuras con lógicas independientes. Aunque lo percibimos como un lugar construido por la gran definición espacial que le otorgan los paramentos y aliviaderos no parece un espacio proyectado, como sí lo son la presa y el pantano. La proximidad física pone en tensión las dos estructuras, a la vez que exhibe los retos que supuso conservar la fábrica antigua al mismo tiempo que se resolvían los requisitos funcionales de la nueva.

La preservación de la presa antigua y las generosas avenidas estimadas³⁴ junto con la posibilidad de vaciado hizo poner

33 Se utilizó hormigón H-175 para el cuerpo y partes de hormigón en masa y H-200 para las zonas armadas. Los áridos de las graveras próximas se desestimaron por su heterogeneidad y alto porcentaje en partículas finas. Díez-Cascón Sagrado, Bueno Hernández, 2001, p. 707

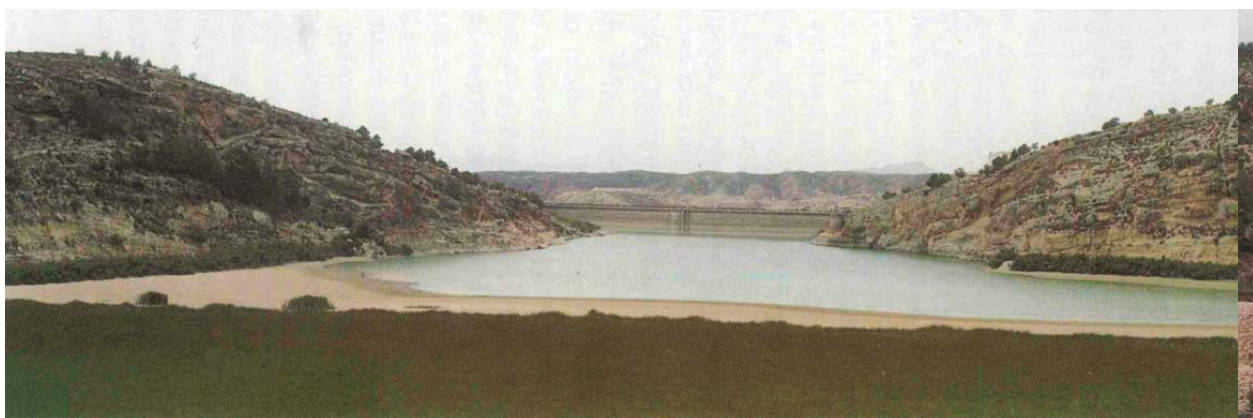
34 Avenidas previstas de 2.800m³/s en un período de 1000 años o 5.600m³/s para la

una especial atención al diseño de los elementos de evacuación. Se proyectó un aliviadero de superficie, un desagüe de medio fondo y otro de fondo. Aguas arriba de la nueva presa se abren cuatro bocas que convergen en dos canales centrados en el eje del paramento posterior. Ya en la base, se incorpora el desagüe de fondo entre los otros dos. Cuatro túneles de 6m de sección abiertos con tuneladora cruzan la base de la presa antigua continuando a cielo abierto hasta superar el ancho de su cimentación y acabando con deflectores de lanzamiento. Estas medidas se completan con la adaptación del aliviadero tipo *morning glory* que existía bajo el estribo izquierdo como desagüe de medio fondo. De hecho, el trazado en planta de la nueva presa responde al aprovechamiento de este. El aliviadero en el rincón debe quedar aguas arriba y por lo tanto es el punto desde el que pivota la nueva estructura. En el estribo derecho, en cambio, se distancia de la anterior por la presencia de un collado.

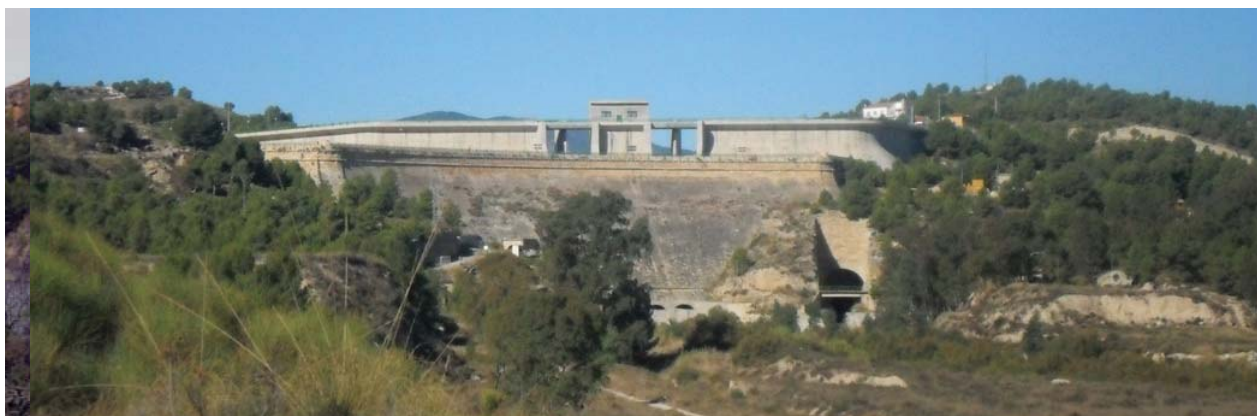
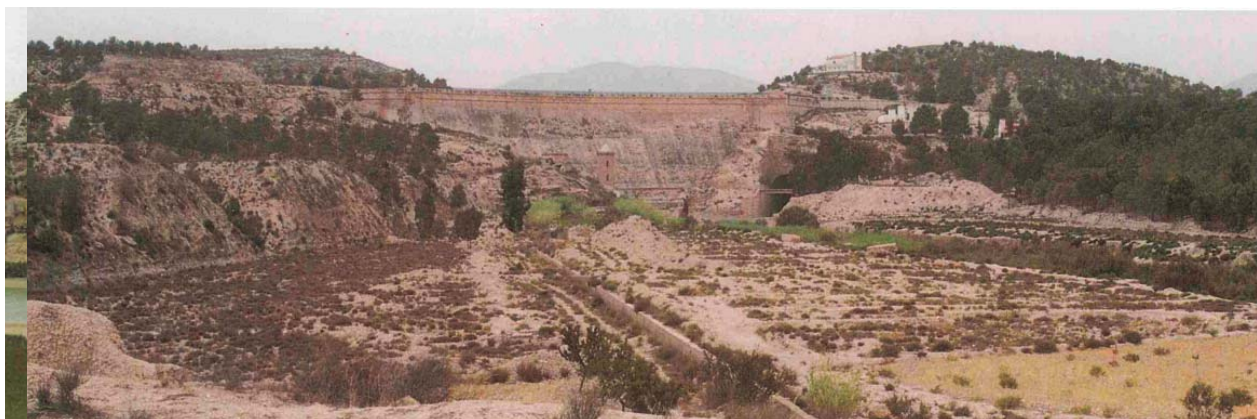
Son los artefactos de evacuación que vinculan físicamente ambas presas. Y también los que otorgan un aspecto completamente diferente a **Puentes IV**. Las tres presas precedentes se caracterizaban por un paramento plano o parcialmente escalonado, pero sin interrupciones ni resaltes. Únicamente puntuado por la boca del desagüe de fondo y las pequeñas aperturas de toma de agua, situadas en una torre adosada en el caso de **Puentes III**. Aquí el paramento aguas arriba adquiere volumen por la presencia de dos pares de embocaduras de labio fijo enmarcando la apertura del aliviadero. También por el cuerpo semicircular de entramado de hormigón que protege la boca del desagüe de medio fondo. Todo esto resuelto sin aristas, con bordes redondeados para interponer la mínima resistencia al paso del agua.

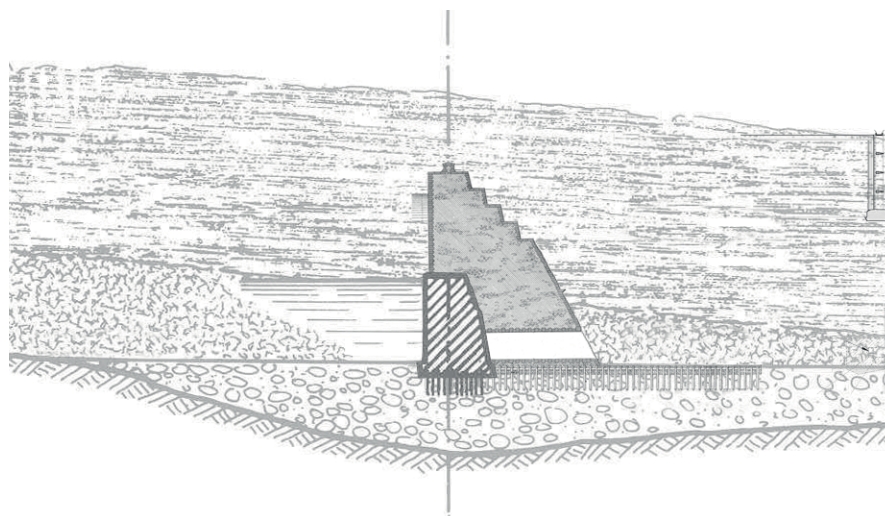
Situar la nueva presa aguas abajo seguramente hubiera comportado una obra de mayor calibre porque la cerrada se abre justo a los pies de **Puentes III**. Por lo tanto parecería que la decisión de preservar la estructura antigua se respalda también por aspectos ligados a la optimización del volumen de obra y por lo tanto de coste, a pesar de la complejidad que supuso el trazado de los desagües a través de la antigua presa.

PMF, ampliando generosamente la capacidad del aliviadero original de Puentes III que era de 600m³/s



Vistas comparadas del paramento de aguas arriba y de aguas abajo de Puentes II, III y IV
Continuación de la secuencia propuesta en: Bautista Martín, Muñoz Bravo, 1986, p. 81. Vistas de Jerónimo Martínez de Lara, 1875. Archivo General del Ministerio de Fomento. Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo (ed.), 1996, pp. 192-193 / Fotografías Eugenio Sánchez Giménez. Bautista Martín, Muñoz Bravo, 1986, p. 81 / Fotografías Cati Ruiz





La presencia de la nueva presa acentúa la lectura **Puentes III** como patrimonio histórico³⁵. La obra civil y en concreto los pantanos tienen una consideración residual en los catálogos de patrimonio. En España existen 16.146 bienes inmuebles declarados como Bien de Interés Cultural³⁶ de los cuales solo nueve son presas. De este conjunto, cuatro son romanas y solo una posterior al siglo XVIII. Del mismo modo que pasa en nuestras ciudades, ha costado muchos años -si es que se ha logrado- para entender que no solo tenía valor lo romano, lo románico o lo gótico. Hay capas posteriores con trascendencia histórica pero el conjunto toma interés cuando se solapan las construcciones de una época con las otras, imbricándose y aprovechando las unas partes de las otras.

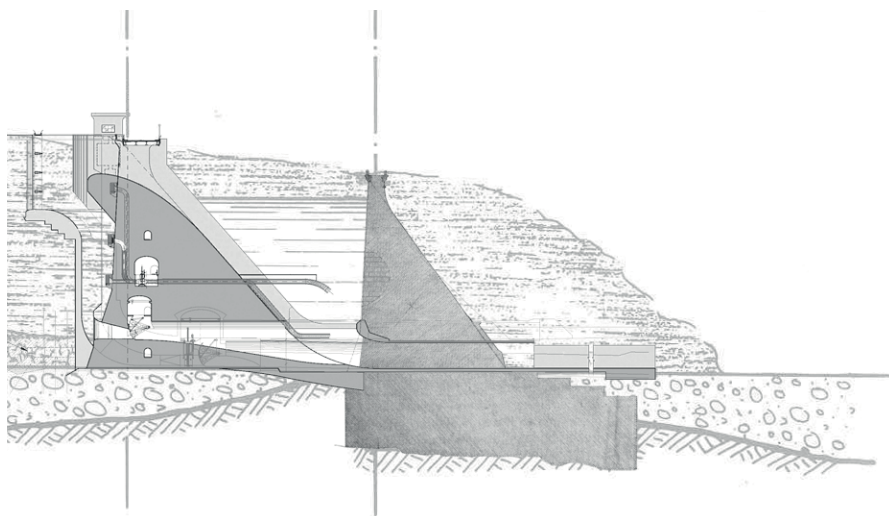
La segunda presa se alzó sobre algunos restos de la primera y compartió con ella el tipo de cimentación que las acabó arruinando. Aprendiendo de los errores, la tercera se emplaza aguas abajo asumiendo mayor volumen de obra a cambio asegurar una buena cimentación. Aprovecha la segunda de cantera e incorpora uno de sus túneles como canal de fondo. La cuarta se construye

Perfiles y posición relativa en la cerrada de las cuatro presas de Puentes

Perfil del cauce como base del fotomontaje:
Bautista Martín, Muñoz Bravo, 1986, p. 39

35 La presa de Puentes forma parte del Catálogo de bienes protegidos de la Región de Murcia con el número 24.217 y un nivel de protección 1. El catálogo de la Revisión Plan General de Ordenación Urbana de Lorca (1989) que le otorga un nivel de protección Integral: "Preserva las características arquitectónicas del edificio, elemento o enclave catalogado, y todos los rasgos que lo singularizan como elemento relevante del patrimonio. Permite la conservación y restauración". Sin embargo, no es declarado Bien de Interés Cultural, como sí lo son los restos del Castillo de Puentes

36 Regulado por la Ley 16/1985 del Patrimonio Histórico Español



junto la anterior incorporando uno de sus aliviaderos que dicta el nuevo trazado y atravesándola con los desagües de fondo. Cambia la piedra por el hormigón y se dota de muchos elementos de evacuación, pero continúa siendo una presa de gravedad con un trazado en planta similar a las dos anteriores.

Irremediablemente, **Puentes IV** despoja de uso a su predecesora y la muestra como un esqueleto, como un antifaz frente su rostro poco refinado. El título del proyecto *Construcción Recrecimiento de la presa de Puentes. Nueva Presa* es un tanto ambiguo. ¿Recrecimiento o nueva presa? **Puentes III** ya no es una presa, quizá remita a una construcción abstracta, a una muralla. Si la quitásemos, nada cambiaría en el funcionamiento del nuevo pantano. Pero su presencia condicionó irremediablemente el diseño, del mismo modo que sucedió con las precedentes. Hasta el momento, es la última etapa de una carrera de relevos de 350 años, durante la que cuatro obras y sus modificaciones han influido en la siguiente con el fin de domesticar el agua en el estrecho de Puentes.



Mares de interior

La Almendra

Quan arriba al mig de la plaça, pren lo rem en sa mà dreta i pregunta als molt curiosos que l'envolten:

-Sabríeu dir-me què és això?

-És una pala de forn -respongué un noiet que no s'aixecava dos pams de terra.

-Què saps tu? -li digué son pare, qui havia estat a marina-. Això no és una pala de forner, que és una pala de barca.

Ja som a prop d'allà on anam -se diu lo mariner-, mes no hi som encara. No vull estar en una població on la mar és coneguda, poc o molt que sia.

Jacint Verdaguer¹

Pantano significa “dificultad, óbice, estorbo grande”². Es una acepción metafórica que remite a los terrenos pantanosos, durante siglos lugares a evitar, sitios insalubres, zonas de mal paso. Un *pantano* es una “hondonada donde se recogen y naturalmente se detienen las aguas, con fondo más o menos cenagoso”. Es un término que en catalán *-pantà* y popularmente *pantano-* se utiliza a principios del siglo XIV y el castellano adopta a finales del XVI, del italiano *pantano*, probablemente procedente de la voz prerromana *Pantanus*, nombre de un lago pantanoso de Apulia en época romana. El croquis firmado por Juan de Herrera para la presa de **Tibi**, titulado *Pantano de Alicante*, evidenciaría que la palabra ya se utiliza desde el primer momento para retenciones artificiales. Sin embargo, no será hasta 1822, que la Real Academia Española incluya la acepción “depósito artificial de agua”, añadiéndole la

¹ Verdaguer, Jacint. “El mariner de Sant Pau”. *Rondalles: Jacint Verdaguer*. Barcelona: Publicacions de l'Abadia del Montserrat, 1986

² *Diccionario de autoridades* de 1726 y veintitrés ediciones del *Diccionario de la lengua española* desde 1780, de la Real Academia Española. *Diccionario crítico etimológico castellano e hispano* como actualización y reunión del *Diccionario crítico etimológico de la lengua castellana* de 1954 y *Breve diccionario etimológico de la lengua castellana* por Joan Corominas con la colaboración de José Antonio Pascual. Muñoz Lorente, 2014

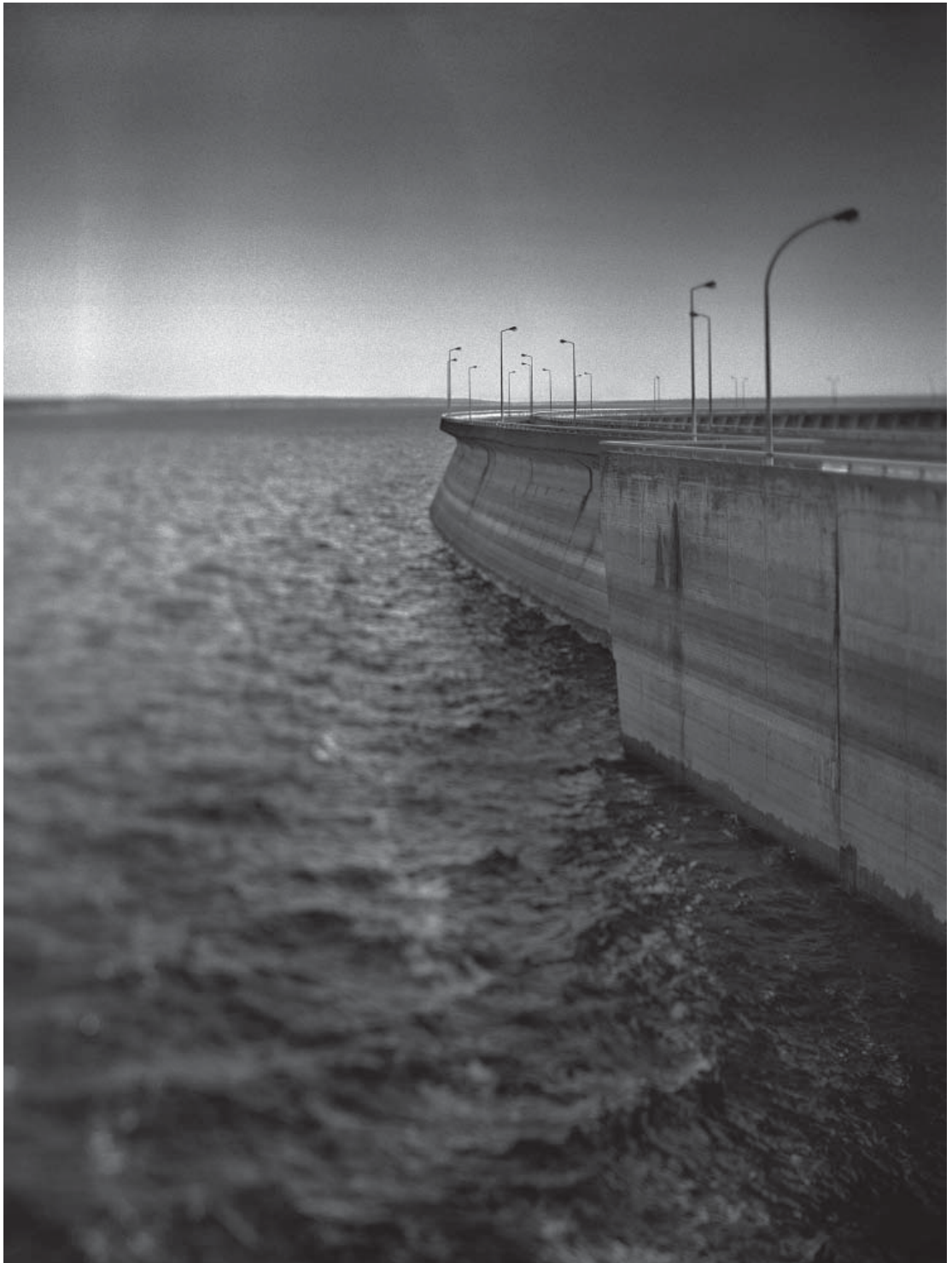
calificación de “gran” más adelante.

El *pantano* generado por la presa, por lo tanto, toma su nombre a través de una comparación con el de origen natural. *Embalse*, en cambio, designa las cualidades que adquiere un lugar por la acción de embalsar y aparece en castellano con el significado actual también en el siglo XVI. Coincide temporalmente con el reinado de Felipe II, quién respalda y promueve la construcción de infraestructuras hidráulicas de gran relevancia como **Ontígola** -conocida como mar-, **Granjilla II**, **Almansa** y especialmente **Tibi**.

Otra vez, las sucesivas ediciones del *Diccionario de la lengua española* aumentan el tamaño y concretan la definición conforme el estado del arte. Si en 1925 se definía como “Balsa artificial adonde se acopian las aguas de un río o arroyo”, en 1970 pasa a ser “Gran depósito que se forma artificialmente, por lo común cerrando la boca de un valle mediante un dique o presa, y en el que se almacenan las aguas de un río o arroyo, a fin de utilizarlas en el riego de terrenos, en el abastecimiento de poblaciones, en la producción de energía eléctrica, etc.”

De esta forma *embalse* pasa a definir grandes depósitos de agua vinculados a una presa, quedando la voz protohispánica *balsa* para los de menor dimensión, entendidos como “hueco del terreno que se llena de agua, natural o artificialmente”. Esta es a su vez sinónima de *charca* y también de *estanque*, procedente de *estancar*, cuya definición especifica que está construida “... con fines utilitarios, como proveer al riego, criar peces, etc., o meramente ornamentales.” Ambos vocablos se emplean para designar algunas presas antiguas en Extremadura, particularmente las de menor dimensión, como **charca del Arroyo de la Luz**, **charca del Lugar** o **estanca de Guadalupe**.

Si el significado de *embalse* evoluciona en función de los avances de la ingeniería de presas, el vocabulario procedente del árabe permanece vinculado a explotaciones de grano pequeño, dedicadas básicamente al riego. Vistas desde la óptica actual, frente a *pantano*, *embalse* o *presa*, las palabras árabes remiten a una cultura del agua más sostenible. Por decirlo de alguna forma, es una diferencia similar a la que subyace entre el hipermercado y el mercado, entre el bufé libre y el menú del día. Así, *alberca* -del árabe hispánico *albírka* y del árabe clásico *birkah*- es un “depósito artificial de agua, con muros de fábrica, para el riego.”



Albuhera se adopta también en Extremadura para designar el tipo más genuino de presa de esta región, formada habitualmente por un muro con contrafuertes y molino adosado. Es una variante del término *albufera*, originario el árabe hispánico *albucháyra*, y este del árabe clásico *buhayrah*, que es a su vez el diminutivo de *bahr* -mar-, un mar pequeño. Visto así, estos embalses extremeños serían una primera aproximación a la idea de mar de interior. El empleo en zonas muy concretas o el desuso hace que estos vocablos acaben integrándose en el nombre propio de la infraestructura, sobretodo cuando difieren del lenguaje común empleado desde el centro de poder. Son ejemplos la presa de **Albuhera de Feria** o la presa **Estanca de Guadalupe**.

Así mismo proviene de la cultura árabe el término *azud*, del árabe hispánico *assúdd*, y este del árabe clásico *sudd*. Aunque deriva a su vez del verbo *sadd* -cerrar-, designa el ingenio o construcción que permite extraer el agua del cauce, bien sea por la “máquina con que se saca agua de los ríos para regar los campos...” o por “presa hecha en los ríos a fin de tomar agua para regar y para otros usos”.

Un sentido similar, aunque de procedencia muy diferente, tendría el origen de la palabra *presa*. Deriva del latín *presa* -participio de *prendere*- que se traduce como coger, agarrar. Es una palabra que designa al animal cazado, a la persona que padece de algo y también al “muro grueso de piedra u otro material que se construye a través de un río, arroyo o canal, para almacenar el agua a fin de derivarla o regular su curso fuera del cauce”. Es un término documentado en 1246 según Sebastián de Covarrubias como “en los molinos, la pesquera de piedras con que atajan el río para llevar el agua al molino”. Queda clara pues la vinculación con la acción de coger, que se mantiene en la definición del diccionario académico de 1780. “La fábrica, á modo de pared, ó muralla de piedra, con que se ataja y detiene el río, para encaminar y llevar el agua al molino, ó para sacarla fuera de la madre del río.”

Represa, a pesar del parecido, proviene del latín *repressus*, -contenido-, de *reprimere*, -contener-. Si presa conlleva asociada la idea de coger, represa se limita a designar la acción de almacenar. Ya documentada en 1505, en 1780 se define como “La detención, ó estanco que se hace de una cosa. Dícese propiamente del agua que se detiene”. Más allá del agua embalsada, no será hasta 1970 que una acepción podrá el acento en el elemento causante

como “obra generalmente de cemento armado, para contener el curso de las aguas”. En 1984 la definición se extenderá también sobre el espacio como “Lugar donde las aguas están detenidas o almacenadas, natural o artificialmente”. *Represa* es un término también utilizado en portugués³, junto con *barragem*. Esta última, del mismo modo que *barrage* en inglés, proceden de la francesa *barrage*. Aluden directamente a la acción de cortar el paso al agua, de un modo similar a la italiana *sbarramento* que acompaña habitualmente a *diga*. Un sentido similar, el de bloquear, adquiere el término inglés *dam*, procedente de la voz alemana *damm*, a su vez del nórdico antiguo *damma*.

El término *dique* procede del neerlandés *dijk*, incorporada al español en el siglo XVI, a raíz del vínculo con los países bajos. Así se refleja en el *Diccionario autoridades* de 1732 como “Defensa, ò repáro artificioso para detener las aguas, fabricado de varios materiales según la necesidad”. De esta palabra también deriva *diga*, el término más común para designar presa en italiano, y la expresión francesa *digue*, reservada para presas de materiales sueltos. Finalmente, *salto de agua* entendido como “caída del agua de un río, arroyo o canal donde hay un desnivel repentino” cogerá un nuevo significado desde el punto de vista del aprovechamiento hidroeléctrico, incluyendo la acepción “conjunto de construcciones y artefactos destinados a aprovechar el salto.”

El interior peninsular ha construido su mar metafórico a través de la literatura. Así son conocidos los campos de cereal castellanos o los olivares de Jaén. Una expresión que se refiere a la “abundancia extraordinaria de ciertas cosas”⁴, hasta donde alcanza la vista, hasta el horizonte. El mar se invoca aquí por la superficie suavemente ondulada de estos parajes, con el movimiento que el viento insufla a los campos de trigo y cebada o la vibración de la hoja verde azulada y plateada del olivo. Se invoca al mar desde los lugares más alejados, donde se practica agricultura de secano.

La zona norte y el arco mediterráneo son los dos extremos del desigual régimen pluviométrico de la península ibérica. Una irregularidad territorial pero también temporal, con fuertes variaciones estacionales e interanuales, que se traduce con unos ríos

3 *Dictionnaire de Français Larousse, Vocabolario Treccani, Dicionario Priberam, Collins dictionary*

4 *Diccionario de la lengua española*. Real Academia Española



El puente renacentista de Ariza
emergiendo de las aguas del embalse
de Giribaile, frente al mar de Jaén
Fotografía Luisa Sánchez

de caudal muy desigual. Solo el 9% del agua precipitada sobre el país se regula de forma natural, lo que supone una disponibilidad media de 240m^3 por habitante. Es una cifra irrisoria comparada con los 1.000m^3 per cápita y año que se estiman básicos. Esta desigualdad aumenta con la distribución poblacional, especialmente en la franja litoral. Si la cuenca del Ebro cuenta con unos recursos de 1.254m^3 per cápita y año, las cuencas internas de Cataluña o la de Guadiana solo alcanzan 26 y 6m^3 respectivamente.

Las políticas hidráulicas pretenden corregir este desequilibrio con el objetivo de tener agua disponible en cualquier lugar y en cualquier momento, bien sea para el riego, el abastecimiento o la producción energética. Y la construcción de pantanos y su gestión en red es el modelo seguido, especialmente desde principios del siglo XX. España cuenta con hoy 1.538 presas y 1.383 embalses, los más antiguos de los cuales pertenecen a la época romana. Pero desde los años cincuenta del siglo XX se ha construido un millar de presas. En este período se ha sumado anualmente de media diecinueve presas y una reserva de agua de mil hectómetros cúbicos. La capacidad de embalse en poco más de seis décadas se ha multiplicado por diez, alcanzando los 63.818hm^3 . Esto representa una regulación del 40% del agua precipitada y se traduce en un aumento de la disponibilidad hasta los 1.430m^3 per cápita y año. Es una cifra significativa, pero claramente inferior a la media de 2.100m^3 per cápita y año de las economías más desarrolladas. El agua retenida artificialmente, a nivel máximo, ocupa $3.249,19\text{km}^2$,

una superficie algo superior a la provincia de Álava entera y más de cinco veces el Mar Muerto.⁵

El marinero que relata Jacint Verdaguer, huyendo del mar para olvidar la tragedia, no encontraría ahora el sosiego deseado. Un sinfín de mares de interior puntea el territorio, cuya longitud de orilla suma 15.000km, duplicando la línea de costa española⁶. Sobre la cuenca del **Ebro**, el mar de Aragón en **Mequinensa**, el de los Pirineos en **Yesa**, y el de Navarra en **Alloz**. En la del Duero el mar de Castilla y León en **La Almendra**. La del Tajo es la cuenca con más agua embalsada y sobre ella se expande el mar de Madrid en **El Atazar**, a pesar de que **San Juan** es el único pantano de la comunidad donde está permitido el baño. En la misma, el mar de Castilla lo forman las presas de **Almoguera**, **Bolarque**, **Entrepeñas**, **Estremera**, **Zorita** y **Buendía**. Sobre el Guadiana y sus afluentes se encuentran varios mares de Extremadura, comunidad que cuenta con una cuarta parte de las reservas de agua. Entre ellos destaca **Orellana**, cuya playa interior es la primera con la distinción de bandera azul, **La Serena** que es el embalse de más capacidad del país y la cola de embalse de **Alqueva**, en Portugal, el más grande de Europa occidental.

Los hechos geográficos condicionan irremediablemente la ocupación del territorio. El promontorio como sitio de control o de culto, el estrecho fluvial como lugar de cruce, el río como barrera de protección, vía de comunicación y fuente de vida a la vez. Los núcleos poblacionales se desarrollan fuertemente vinculados a estos elementos, se conforman según las características del lugar.

“La geografía deja su huella en la forma específica que adoptan los lugares públicos. En tal caso puede decirse que los elementos geográficos contienen la explicación del origen de la ciudad, o, lo que es lo mismo, que constituyen *la raíz etimológica de los hechos urbanos*.”⁷

La construcción de un embalse añade de la noche a la mañana un hecho geográfico de primera magnitud. Pueblos en una ladera

5 Datos procedentes de *Inventario de Presas y Embalses y Libro digital del agua*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015. Berga Casafont, 2008, pp. 19-40

6 García Pérez, 2008, p. 181

7 Martí Arís, Carlos. “Lugares públicos en la naturaleza”. Martí Arís, 2005, p. 59



El horizonte en el mar de Madrid, pantano del Atazar

Fotografía Diego Sanz Siguero

Baños termales de Tiermas junto a los restos del antiguo balneario en el mar de los Pirineos

Fotografía Txo

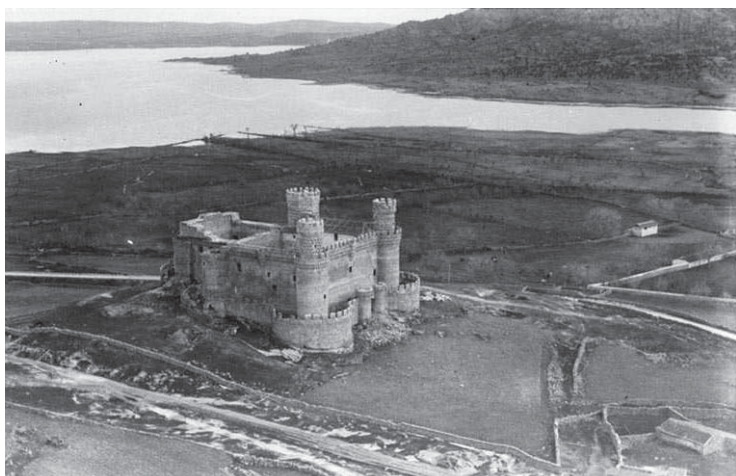
Playa con bandera azul en el embalse de Orellana

Dirección General de Turismo de Extremadura



son de pronto lugares ribereños, localidades frente a una gran extensión de agua. En geografías agrestes el agua embalsada establece un plano horizontal inaudito hasta el momento, incorpora la posibilidad de vislumbrar el horizonte. En zonas áridas la palabra mar cobra todo su significado en relación a la abundancia. A la transformación física del territorio le sigue la construcción del paisaje, es decir, la forma en que lo miramos y lo entendemos bajo la coyuntura cultural, social y económica del momento. De una forma similar sucede con el significado de las palabras como *pantano*, refiriéndose cada vez a un embalse de mayor magnitud en relación al estado del arte, frente las palabras derivadas del árabe que han mantenido su relación con el regadío de huerta. No en vano, el lenguaje es el mejor reflejo de la forma de apropiación de un territorio.

En muchos casos, las ciudades que deben su fundación a la proximidad del mar o del río han vivido de espaldas a su principal hecho geográfico. Mantienen con él una relación ambivalente. De un lado es una vía de comunicación y relación, un lugar de abastecimiento, una fuente de alimento. Del otro, el sitio por donde puede llegar el invasor, el elemento natural que enfurecido por un temporal o crecida súbita puede arruinar la población. La apropiación de los lugares públicos en frentes fluviales y marítimos conecta la ciudad con un hecho geográfico potente, con la naturaleza. El éxito de estas operaciones, sin duda alguna, es deudora de la idea de paisaje que nos hemos construido y al deseo de atesorarla. El mar de **Ontígola** es planeado desde



sus inicios como estanque para actividades lúdicas relacionado con los jardines de Aranjuez. No obstante, la antigua presa de **Manzanares el Real** es buen ejemplo de cómo una instalación pensada para el abastecimiento y producción eléctrica responde al pueblo ribereño. El carácter de la infraestructura trasciende su cometido principal, concibiéndose como antesala y gran jardín del casillo que preside la población. Del mismo modo, la presa de **Alcalá del Río** sobre el Guadalquivir asume el papel de puerta de entrada de la población, estableciendo relación con el campanario de la iglesia de Santa María de la Asunción.

El viento que azota los campos de cereales castellanos, ahora también ondula la masa de agua embalsada, normalmente mansa. La mala mar de interior es un episodio singular. Y es que el nuevo paisaje tiene sus propios fenómenos “naturales”; un foco de atracción y motivo de visita como también lo son el temporal marítimo o la riada. En máxima capacidad de embalse, el agua vertiendo, como fiera desengaulada, restablece la continuidad del cauce dividido por la presa. La calma tensa aguas arriba es la antesala de la atmósfera que se respira al otro lado del paramento, caracterizada por la neblina y el ruido estrepitoso de la caída. Es un espectáculo perfectamente programado en base al estudio hidrodinámico de los elementos de alivio de forma que se destruya la energía del agua, antes que esta afecte a la presa o la cerrada. La violencia que desprende la disipación de energía será para unos un paisaje romántico, sublime, la atracción del abismo, aunque para otros, kilovatios desaprovechados.

Embalse de Manzanares el Real, hoy Santillana, a los pies del castillo y la localidad

Fondo Josep Gaspar Serra, 1920-30. Arxiu Nacional de Catalunya

Torre de toma de aguas y paramento de la presa

Colección Jesús Guerra Esetena



En una situación opuesta, el embalse seco ofrece otro episodio singular. Quedan a la vista sus entrañas, los restos de un paisaje anterior recubiertos por una capa de lodo uniforme. Ahora se exhibe con toda su crudeza lo que debería permanecer oculto. Lo que imaginamos como tesoros bajo las aguas, a la vista se convierten en despojos, en una naturaleza muerta, despertando curiosidad o dolor en función del vínculo emocional con el lugar.

“El ingeniero quiere ser poeta” glosaba Pablo Neruda en *Oda al Gato*. Esta es, sin lugar a dudas, una visión muy afinada sobre todo por las coincidencias que sugiere entre el trabajo de ambos sin que el ingeniero tenga precisamente la pretensión de ser poeta con su obra. El mar de interior es una invención primero del poeta y después el ingeniero. Quizá son los dos colectivos que de forma más decisiva han contribuido a la construcción del paisaje. La percepción que tenemos hoy del país es deudora de su obra, y son múltiples los puntos de coincidencia entre el campo de la literatura y la ingeniería. Una coincidencia que da lugar a singulares episodios de colaboración; Rafael Sánchez Ferlosio, Jaime Valle-Inclán, Juan del Val o Carmen Martín-Gaité colaboraron como asesores del estudio del ingeniero José Torán⁸, con quién también compartían tertulias literarias en su chalet.

Torán fue el director artístico del espectáculo de inauguración de la presa de **El Cenajo** en el río Segura, construida por la empresa Coviles, de la cual era fundador. Para la noche anterior a

Vertido de las aguas de la Rambla de la Viuda sobre la coronación en la presa de María Cristina en 1962
Fotografía Wamba

8 Merino, María del Mar. “José Torán (1916-1981)”. *Ambienta*, 2002, núm. 10, p. 72

los habituales actos protocolarios, un 5 de junio de 1963, prepara una estudiada puesta en escena estructurada a partir del poema de Jaime Valle-Inclán “El río emplazado”. Simboliza la unión de la tríada huerta, técnica y agua, o también si se quiere de usuarios, presa y embalse. Un espectáculo de sonido, luz y pirotecnia culmina con la entrada en carga de los tres vanos del aliviadero, imagen del agua domesticada gracias a la presa.⁹

No solo la obra, sino también el proceso proyectual admite vínculos entre el trabajo de poetas e ingenieros. Las grandes construcciones se cimientan sobre la intuición, o inspiración si se quiere, algo que no recogen los prontuarios ni las normas de seguridad en embalses. Es una poción mágica confeccionada en lo más interno de la persona, cúmulo de conocimientos, experiencias, sensaciones, muchas veces inabarcable desde la razón. Es el germen del proyecto, pero también la fuerza motriz de su desarrollo, y la garantía que la obra final trascienda el aspecto puramente funcional. Para ello es necesario un conocimiento profundo del territorio soporte de la obra, un proceso que lleva a una especie de mimesis entre autor y lugar. Pero la intuición no llega a buen puerto sin un trabajo esforzado y riguroso. La precisión en el lenguaje, matemático o literario, es un requisito básico, como también lo es el rigor en su manejo. “Al fin y al cabo, un error de cálculo puede colapsar la estructura del texto y hacerlo inservible”¹⁰ señala David Bestué, a raíz del trabajo de investigación *Realismo*.

Políticas hidráulicas aparte, las características geográficas son decisivas en el número y extensión de pantanos. La orografía y geología española formalizan un gran número de cerradas de calidad, pero da lugar a embalses de capacidad reducida. De hecho, solo una cuarta parte de los pantanos, concentra el 98% del agua almacenada. El de **Ricobayo** en el Esla es en los años treinta el más grande y aún hoy ostenta la octava posición. En la memoria del proyecto se explica que el embalse tendrá una longitud de 90km, superior a la del lago Lemán. Sin embargo ocupa una décima parte de su superficie y tiene una centava parte de su capacidad. Seguramente la palabra *lago* sería aquí más apropiada



Espectáculo inaugural de la presa del Cenajo en 1963
Campo y Francés, 1992

9 Para llenar rápidamente El Cenajo fue necesario el vaciado del pantano superior. Pelegrín, Mariano. “Bodas de oro del Cenajo”. *La opinión de Murcia*, 9 de junio de 2013

10 Entrevista en motivo de la instalación *Realismo*, una investigación acerca de la historia de la ingeniería en España, producida por BCN Producció'15 y exhibida en La Capella de Barcelona del 27 de mayo al 5 de julio de 2015. Bestué, 2015, p. 31

que la de *mar* atendiendo al tamaño de la superficie de agua de los embalses españoles. De hecho, la mayoría de lagos del parque nacional de Aigüestortes y Lago de Sant Maurici fueron convertidos en embalses formando un complejo sistema en red para su aprovechamiento hidroeléctrico.

Lo que sí comparten los pantanos y el mar es la marea, diaria para los océanos, anual o hiperanual para los embases. La infraestructura está intrínsecamente vinculada a una banda árida entre el agua y la vegetación, oscilante en función de las aportaciones y la demanda. A pesar de percibir la masa de agua estática, la franja despojada nos recuerda que permanece en constante movimiento. Este es quizá el elemento más definitorio del paisaje de pantano, porque explica a la perfección su función reguladora. Precisamente para “remediar” este asunto frente los pueblos ribereños, José Torán proponía la construcción de diques verticales para que el agua siempre llegase al mismo borde.¹¹

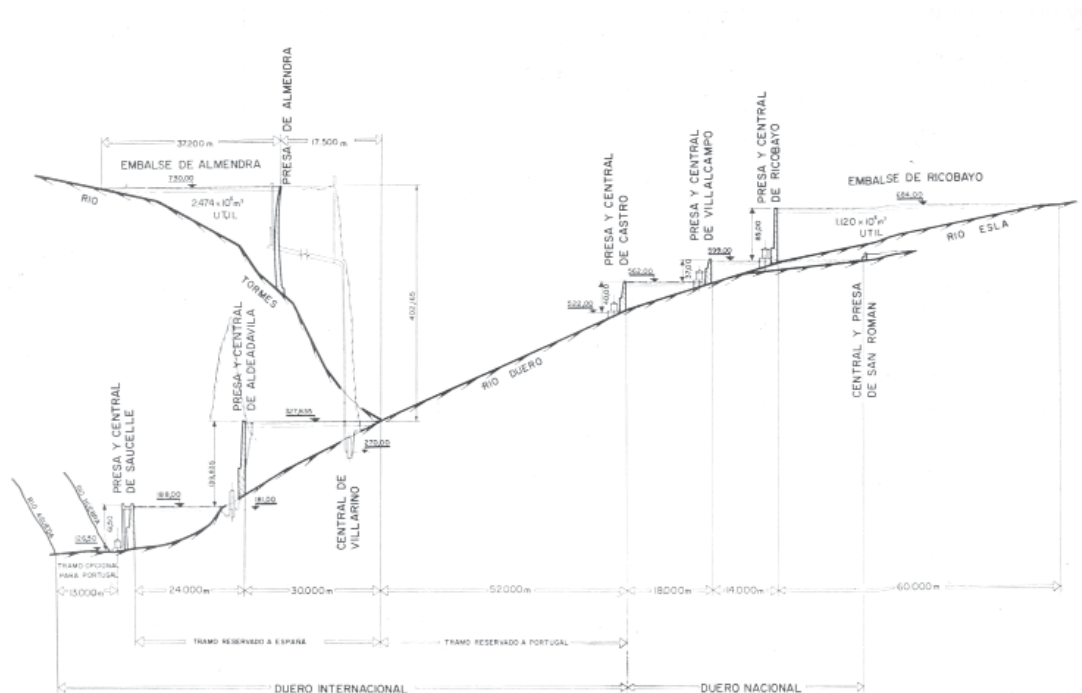
Seguramente, el factor crucial para denominar como *mar* a los embalses en la coyuntura actual es la promoción turística. En un país “sol y playa” la idea de un mar de interior vende más que la de un lago. Incluso la imagen metafórica del mar de Castilla basada en los campos de trigo languidece en el imaginario colectivo frente la nueva realidad. Los municipios recientemente ribereños se agrupan para promocionar el mar de interior como un destino turístico. Playa, pesca, deportes náuticos utilizan la nueva configuración del territorio como soporte de la actividad de ocio. Mar de interior alude a un hecho geográfico natural, evitando los términos que implican un artificio como presa, represa, embalse o pantano. *Mar de interior* es ahora una marca.

Si la expresión *mar de interior* entraña un artificio, el embalse de **La Almendra** representa su cúspide. Con una capacidad de 2.648hm³, es el tercer pantano español detrás de **La Serena** y **Alcántara** con 3.220hm³ y 3.162hm³, respectivamente. Inunda una extensión de 8.582ha sobre el río Tormes, lo que equivale al citado lago Lemán, afectando en su momento a 17 términos municipales¹². Lo curioso del caso es que se trata de una infraestructura sobredimensionada en relación al caudal del río, que solo aporta un tercio del agua embalsable. El resto procede del

11 Torán, José. “Mirador”, 1970. Campo y Francés, 1992, p. 315

12 Para restablecer la red viaria afectada por el embalse se realizan 16km de vías y 11 nuevos puentes. Iberduero (ed). *Salto de Villarino*, 1970, p. 17

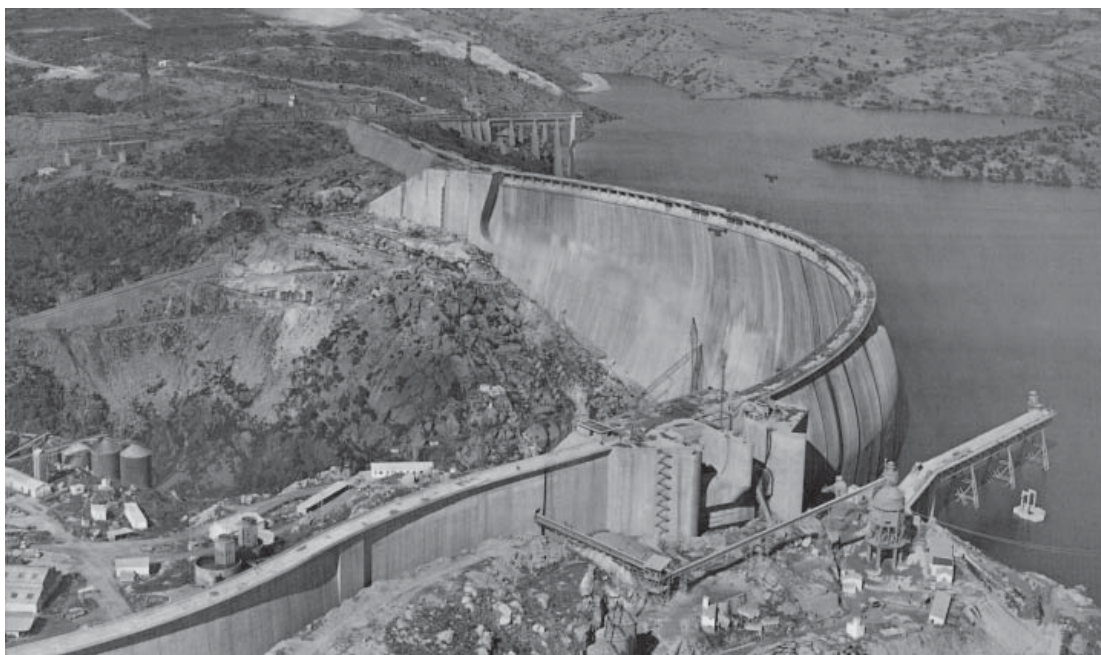




Duero que discurre a quince kilómetros de distancia y a un nivel 400m inferior.

La Almendra, terminada en 1970, es la última pieza del sistema Saltos del Duero inferior. A finales de los veinte empezaban las obras de regulación de cabecera con la presa de **Ricobayo** sobre el Esla. Le seguían una tras otra las represas levantadas a lo largo del cañón de las Arribes: **Villalcampo** (1942-49), **Castro** (1946-52), **Saucelle** (1950-56) y **Aldeadávila** (1956-62), situada aguas arriba de la última. La presa del Esla fue en su momento una de las más importantes de Europa, tanto por sus dimensiones como por la planificación de la puesta en obra. La escasez económica y material de posguerra obligó a los ingenieros a agudizar la imaginación, en un proceso evolutivo en que los conocimientos adquiridos en la construcción de un pantano eran la base para el proyecto de la siguiente. Esta actitud y forma de proceder dio forma a lo que se conoce como “Escuela del Duero”. No en vano la oficina técnica tenía como lema “Nosotros no construimos una presa, sino para hacer la siguiente.”¹³

En este sentido **La Almendra** representa el colofón final y el



fin de una etapa en muchos sentidos. Hasta el momento Iberduero había contratado y formado su propia plantilla de trabajadores, que iban pasando de un salto al siguiente. En vistas a la finalización de las obras de regulación del Duero, y existiendo ya en España empresas constructoras solventes, los trabajos son contratados externamente y la plantilla transferida a estas empresas. Siguiendo la tendencia acentuada por la apertura económica del país, la empresa, hasta el momento autosuficiente, adquiere ahora el papel de promotora y gestora de las instalaciones.

En 1963, se inaugura el salto de **Aldeadávila** y seguidamente empieza la redacción del proyecto para **La Almendra**, por el ingeniero Pedro Guinea. La compañía adquiere un ordenador IBM 1401, que permite realizar en tres horas los cálculos que en la presa anterior habían llevado medio año de trabajo¹⁴. Las obras del salto de Villarino, como inicialmente se denominaba, terminarían en 1970 con un coste de 10.000 millones de pesetas, inicialmente cifrado en 4.000. Iba a ser presa “la más bella y la más alta de España.”¹⁵

14 Díaz Morlán, 2009, p. 16

15 *ABC*, 28 de agosto de 1964

Fase final de las obras en los paramentos y el aliviadero
Iberduero (ed.), 1970, pp. 156, 157



Maqueta de la bóveda con una reproducción del edificio Torre de Madrid

Muriel Hernández, Chapa Imaz, 2002, vol. 2, p. 247; vol. 1, p. 87

La evolución de las alternativas de aprovechamiento del Tormes permiten una lectura en paralelo del proceso de fortalecimiento técnico y económico de la compañía y también del país. Fruto de los conocimientos adquiridos y la disponibilidad de medios en los años sesenta, Saltos del Duero, acomete una obra impensable unos años antes. Según lo permitían las posibilidades técnicas se avanzaba hacia embalses de mayor capacidad, reduciendo el número de centrales. La producción hidroeléctrica entra en una etapa de madurez, cuyo objetivo principal se centra en la construcción de piezas clave para la optimización de los sistemas existentes. Los grupos de turbina-bomba representan en este sentido un gran avance. En horas de bajo consumo eléctrico se destina el excedente energético para bombear el agua hacia el embalse superior, estando disponible otra vez para el turbinado cuando el mercado lo requiera. Dicho de otro modo, el bombeo es un sistema de creación de demanda eléctrica.

El embalse de cabecera del Esla carecía de suficiente capacidad para regular las habituales avenidas, con lo que el sistema desembalsaba habitualmente, dejando escapar capacidad de producción. **La Almendra** venía a solventar este problema, elevando el agua del Duero que llegaba a **Aldeadávila** hacia el Tormes para su posterior reutilización, formando una reserva de energía de 3.300 millones de kWh. Aquí yace el secreto de la construcción de un embalse tan grande sobre un río de caudal modesto.

Sobre el río Tormes se habían proyectado un par de presas de 70 y 90m que posteriormente pasaron a una única de 170m colmatando la altura de la cerrada actual¹⁶. Sin embargo, la presa finalmente construida alcanza los 202m, una altura jamás superada en España. Si en **Ricobayo** el reto era construir un gran pantano en un río muy caudaloso y en **Aldeadávila** cerrar un portillo perfecto pero de espacio reducido y muy difícil acceso, en **La Almendra** el desafío consiste en levantar una presa unos 30m más alta que la cerrada. La capacidad técnica y constructiva alcanza un nivel que permite sobrepasar la lógica de cerrar un estrecho para represar las aguas. **La Almendra**, a parte de la construcción de una presa es la construcción de una cerrada. Representa el salto del artefacto deudor de los hechos geográficos a la propia construcción de un nuevo hecho geográfico.

¹⁶ Bueno Hernández, Saldaña Arce, 2000, p. 11

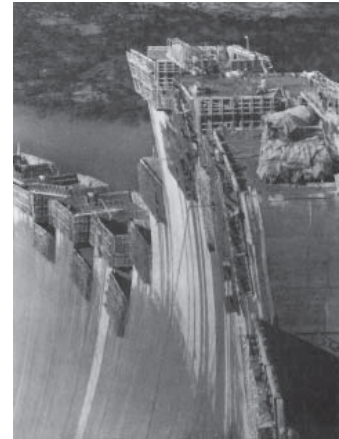
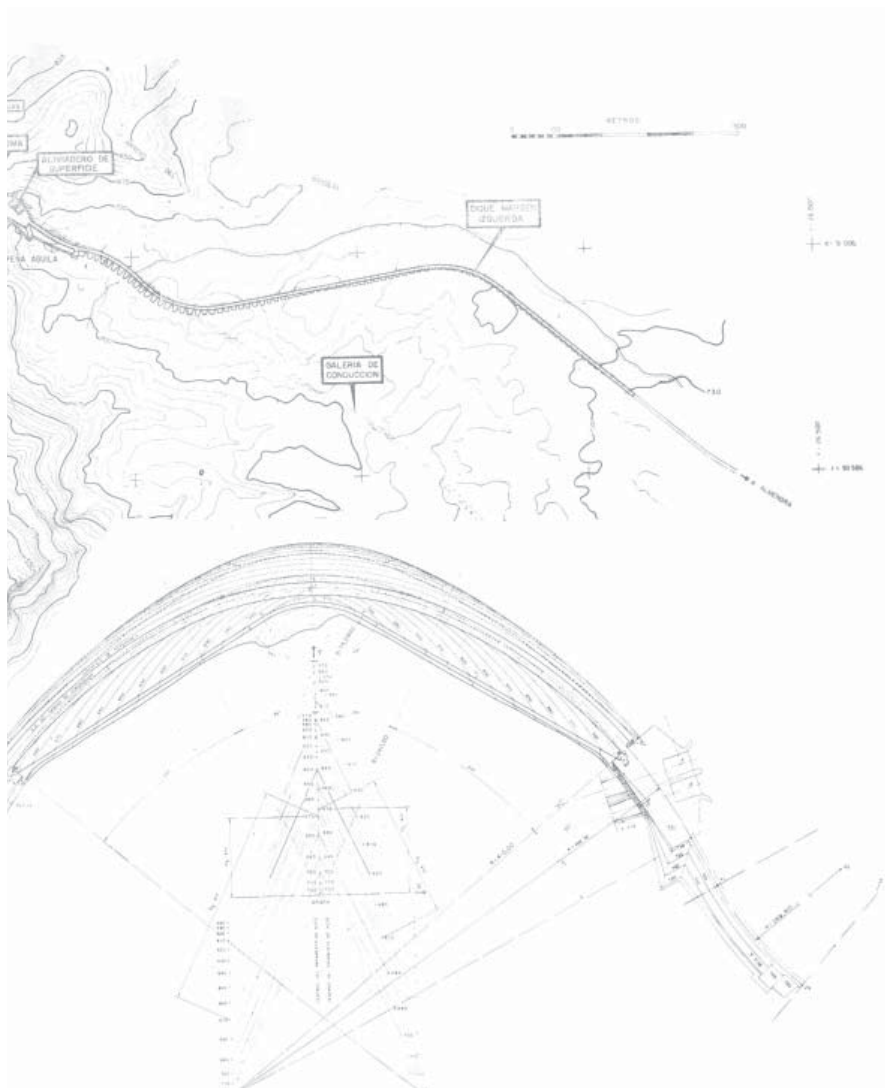


Una instalación, además, capaz de subvertir la ley de la gravedad llenando el embalse con agua procedente de un río aguas abajo. Si en **Aldeadávila** el estado del arte está preparado para construir en cualquier cerrada, en **La Almendra** se construye la cerrada a medida, superando las limitaciones que pueda imponer cualquier emplazamiento.

El artificio se sustenta en dos grandes bloques macizos que completan la altura del portillo, unos elementos que pertenecen a la presa pero sobretodo responden a la topografía. Prueba de ello es la formalización de las caras laterales hacia el centro del cauce, con una mitad según la sección de la bóveda y la otra con un perfil curvado que acorda tangencialmente con la forma en U del valle, dando continuidad al estrecho. Los estribos macizos son un recurso habitual en las presas bóveda para regularizar la cerrada y estrecharla en la parte superior, como sucede por ejemplo en **Belesar** o **Santa Eulalia**, donde además se aprovechan para ubicar las compuertas del aliviadero en canal. En **La Almendra** el bloque izquierdo arroja una pareja de largos canales de desagüe acomodada a la topografía de la ladera que refuerzan el maclado del estribo con la cerrada. Aguas arriba se abren dos embocaduras con sendas compuertas Taintor de 12,5 x 15m diseñadas para un caudal de 3.070m³/s. Los canales, en alineación con el cauce del río, se rematan con trampolines que disipan la energía del agua por el choque de dos chorros en

Estribo izquierdo de recrecimiento de la cerrada y apoyo de la bóveda
Iberdrola (ed.), 2009, pp. 115, 116

El aliviadero de La Almendra en carga con el choque del par de chorros en cola de gallo
Fotografía Ricardo Melgar



Perfiles de los paramentos de bóveda, contrafuertes y escollera con pantalla asfáltica

Iberduero (ed.). *Salto de Villarino*, 1970, pp. 21, 27

Planta general de la presa con diques laterales y trazado geométrico de la bóveda

Galíndez, Guinea, 1967, figs. 6, 7

Trabajos de construcción de los distintos paramentos

Iberduero (ed.). *Salto de Villarino*, 1970, pp. 21, 27 / Iberdrola (ed.), 2009, p. 112



forma de cola de gallo¹⁷. Un espectáculo poco frecuente, dadas las características de la explotación, pero fácilmente imaginable por la configuración hidrodinámica de las embocaduras, que no es más que la contraforma del agua.

Atendiendo a las excelentes condiciones morfológicas y geológicas, entre bastiones se tiende la gran bóveda de 202m de altura sobre cimientos, 1.075m de coronación y espesores de 27m en la base y 10 en el extremo superior¹⁸. Es una cáscara de doble curvatura, trazada con arcos de tres centros para optimizar el ángulo de incidencia a las laderas. El alto ritmo de hormigonado, que alcanza los 100.000m³ mensuales, conlleva la instalación de un sistema de refrigeración por fases con agua de río y refrigerada, para permitir un sellado rápido de las juntas entre bloques.

Y claro está, superar en altura la cerrada también implica suplementar las laderas con diques a ambos lados hasta encontrar puntos altos. En la parte izquierda, atendiendo a una mejor calidad del terreno, se analizan perfiles de gravedad, bóvedas múltiples con contrafuertes, bóvedas múltiples inclinadas y varias alternativas de gravedad aligerada¹⁹. Finalmente, el paramento

Acorde del estribo izquierda con la bóveda y el dique de contrafuertes
Fotografía Ricardo Melgar

17 Complementan los desagües, dos de medio fondo por túnel en la ladera derecha con una capacidad de 900m³/s y otro par de fondo en el zócalo de la bóveda para 204m³/s. Todos los dispositivos de aliviadero han sido estudiados con ensayos en modelo reducido

18 Bóveda y estribos comportan un volumen de excavación de 1.107.900m³ y un volumen de hormigón de 2.188.000m³. Iberduero (ed). *Salto de Villarino*, 1970, p. 19

19 Galíndez, Guinea, 1967, p. 706



de 35m de altura máxima y 1.344m, se resuelve con potentes contrafuertes de planta trapezoidal y una delgada pantalla de 3,5m de espesor en el extremo superior. Dicha pantalla sobrepasa los contrafuertes, rematándose con voladizos en ambos lados como tablón de la carretera de coronación.

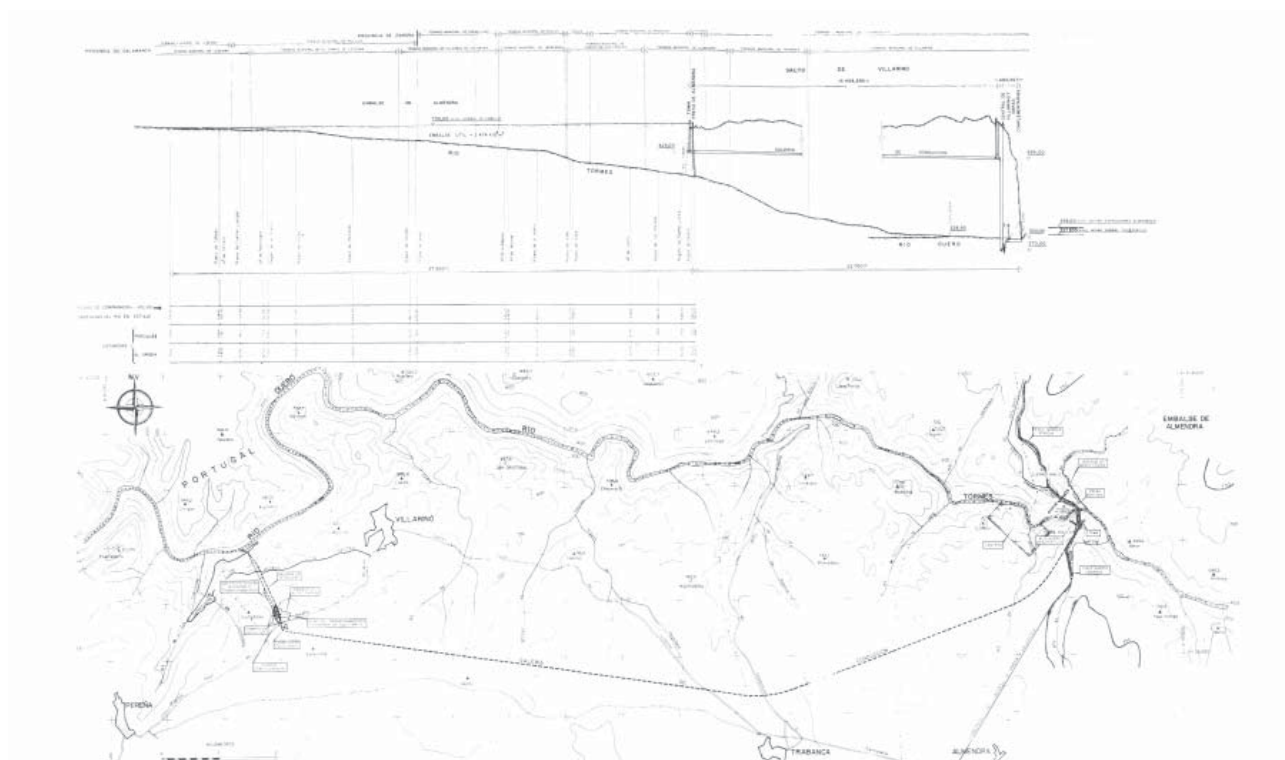
La margen derecha presenta peores condiciones de cimentación, lo que sumado a la buena calidad y cantidad de productos de excavación disponibles se opta por un dique de materiales sueltos con pantalla asfáltica. La estructura de 38m de altura máxima y 1.663m de longitud de coronación está formada por 962.897m³ de piedras, que representan un 80% del volumen de excavación de todos los paramentos y cuadriplican sobradamente la cantidad de hormigón empleado en el dique de contrafuertes.

El conjunto alza sobre el terreno una muralla que supera los cuatro kilómetros de longitud²⁰, solo comparable con los 3.834m que suman los tres diques de materiales sueltos de **La Sotonera** en el río Sotón²¹. Frente a la forma “de laboratorio” de la bóveda, perfectamente tendida entre bloques de estribación, los diques laterales presentan un perfil sinuoso. Su trazado busca la resolución del problema con la menor altura posible, que no siempre coincide con el camino más recto. El fruto de la mejor tecnología

20 Una galería de registro y drenaje recorre la base de los paramentos en gran parte de su longitud

21 *Inventario de Presas y Embalses*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2015

Mares de La Almendra y La Sotonera
Fotografía Ricardo Melgar / Sociedad Española de Presas y Embalses



Planta general del salto de Villarino
Galíndez, Guinea, 1967, fig. 5

de los sesenta se empareja con las antiguas presas extremeñas, concretamente aquellas levantadas sin proyecto previo. El común denominador es la adaptación a la topografía y la optimización de los recursos empleados.

Bóveda, contrafuertes y escollera, aparte de otros sistemas tanteados en base a bóvedas múltiples; el largo dique de **La Almen-dra** es un catálogo de soluciones, una demostración de lo que la Escuela del Duero es capaz de proyectar y construir. Por extensión es un resumen del estado del arte a finales de los sesenta, cuando todas las tipologías aún eran económicamente viables y estaban a disposición del proyectista. Aquí se dan la mano la bóveda más alta de España, una de las últimas presas de contrafuertes y la cuarta de mayor altura y una de las primeras de escollera.

Durante la revolución cultural china se explicaba a los alumnos que la gran muralla era la única construcción humana visible desde el espacio. Ya se sabe que las grandes obras de ingeniería son motivo de orgullo nacional y una forma de exhibir el poder del país al extranjero. Fueron los primeros astronautas chinos quienes

desmentirían esta creencia tan arraigada a sus conciudadanos. Y no será por la envergadura de la construcción, que supera los 20.000km de longitud, sino porque su delgadez la hace imperceptible. De haber alguna obra de ingeniería visible desde el espacio, esta será un pantano, o sea, la extensión de agua embalsada. La presa aquí es solo un fragmento del contorno, quizá la parte de trazado más regular y el único límite invariable frente a las oscilaciones de nivel. A parte del largísimo dique de **La Almendra**, el funcionamiento del embalse se debe a una gran obra invisible, siquiera sobre el terreno. Es el motor de todo este artificio.

La única construcción perceptible sobre rasante es la cámara de expansión de la chimenea de equilibrio de aguas arriba, cerca de Villarino de los Aires. Es una estructura cilíndrica de 70m de diámetro construida en hormigón pretensado que juntamente con una cámara en espiral subterránea protege la conducción de las presiones generadas por el arranque y paro de máquinas. Nos señala el final de la galería de conducción de 7,5m de diámetro, excavada a lo largo de los 15km que separan la presa y la central eléctrica a una profundidad media de 110m. En este punto la canalización desciende 325m en vertical hasta las profundidades, bifurcándose en el viaje, primero en dos ramales y después en cuatro de alta presión.

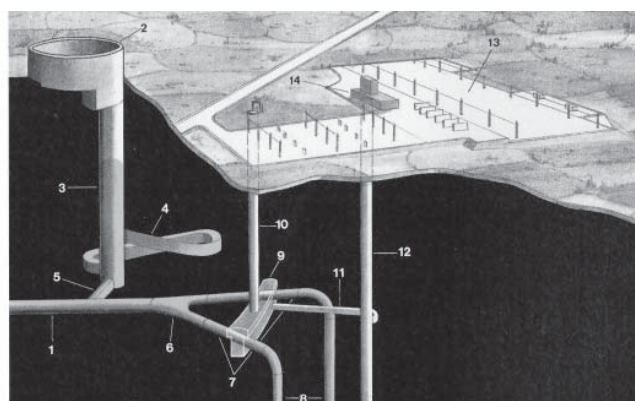
A sus pies se abre la central con cuatro turbinas-bombas reversibles tipo Francis de eje vertical, situada en una cota inferior al nivel mínimo de embalse de **Aldeadávila**. La apertura de la sala de máquinas es un trabajo netamente de vaciado; la calidad del macizo granítico permite dar forma a un espacio interior abovedado solamente sustrayendo material. Incluso se prescinde de la habitual estructura de soporte del puente grúa, apoyando los raíles en un escalón de la roca. Atendiendo a la escala de la infraestructura en su conjunto puede parecernos que se trata de una pequeña galería. Sin embargo la excavadora en su interior durante la construcción pone escala al espacio de 94m de largo, 14m de ancho y 24,8m de altura.

Otras tres galerías de perfil similar, aunque de menores dimensiones, se conciben como cámaras de válvulas de baja presión, alta presión y tubos de aspiración respectivamente. Una cuarta aloja los transformadores. Todas estas oquedades se abren en sentido transversal a la canalización de agua, situándose a distintas alturas. La salida de cables se realiza por un pozo vertical



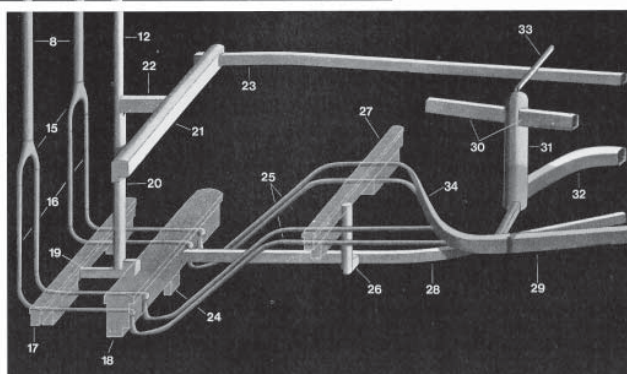
Galería de conducción desde la presa y caverna de la central

Muriel Hernández, Chapa Imaz, 2002, vol. 1, p. 191 / Iberduero (ed.). *Salto de Villarino*, 1970, p. 159



- 1 - Galería de conducción
- 2 - Chimenea de equilibrio - Cámara de expansión superior
- 3 - Chimenea de equilibrio - Pozo
- 4 - Chimenea de equilibrio - Cámara de expansión inferior
- 5 - Comunicación entre galería y pozo
- 6 - Bifurcación
- 7 - Galerías de alta presión
- 8 - Pozos de alta presión
- 9 - Cámara de válvulas de baja presión
- 10 - Pozo de acceso de materiales
- 11 - Galería de acceso
- 12 - Pozo de cables
- 13 - Parque de alta tensión
- 14 - Edificio de cuadros de control
- 15 - Bifurcación
- 16 - Tuberías forzadas
- 17 - Cámara de válvulas de alta presión

- 18 - Central
- 19 - Galería de acceso
- 20 - Pozo de barras
- 21 - Caverna de transformadores
- 22 - Galería de barras de cables
- 23 - Galería de acceso a transformadores
- 24 - Pozo de bombas
- 25 - Tubos de aspiración
- 26 - Galería de acceso
- 27 - Cámara de válvulas de tubos de aspiración
- 28 - Galería de acceso a central
- 29 - Galería de desagüe
- 30 - Chimenea equilibrio aguas abajo - Cámara de expansión superior
- 31 - Chimenea de equilibrio aguas abajo - Pozo
- 32 - Chimenea de equilibrio aguas abajo - Cámara de expansión inferior
- 33 - Chimenea de equilibrio aguas abajo - Galería y pozo de aireación
- 34 - Colector



de 437,50m, que también aloja unas escaleras y un ascensor²². Es la espina dorsal que vincula todas las cámaras interiores con el centro de control y la estación eléctrica en superficie. El vaciado de conductos y salas daría lugar a un extraño artefacto, asimilable a un cuadro de instalaciones trazado en el espacio. Es en realidad una máquina insertada en el seno de la roca.

El sistema del Duero pudo aprovechar la cuenca del Tormes para establecer un pantano regulador, aunque completando la cerrada. Pero en otros casos no se dispone de ninguna cuenca alternativa para almacenar el agua bombeada, con lo que se debe recurrir a la construcción de un embalse coronando la cima de una montaña. Este es el caso de **La Muela**, llenado con agua ascendida desde la presa de **Cortes** en el Júcar o el embalse de **Villaverde**, vinculado a la central de **Tajo de la Encantada** sobre el Guadalhorce, a la salida del Tajo de los Gaitanes. Quizá el ejemplo más paradigmático, aunque se trate de un simple vaso

Esquema de la central subterránea de Villarino

Iberduero (ed.). *Salto de Villarino*, 1970, p. 39

²² En el momento de la construcción récord mundial de altura en su tipo

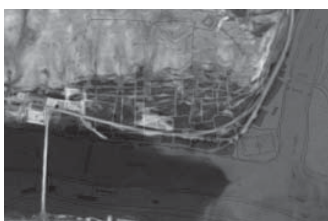


de almacenamiento, es la balsa del **Taco** en Canarias, para la que se utiliza el cráter de un volcán convenientemente impermeabilizado. Los sistemas de bombeo subvierten la ley de la gravedad, dando lugar a artificiosos embalses, aceptando que el término admite gradación. Carecen de cuenca receptora y cauce fluvial que les otorgue direccionalidad; carecen también de cerrada y de presa, no deben gestionar avenidas. Desaparece desde el punto de vista funcional la “exigencia de naturalidad” que atribuía Carlos Fernández Casado a la obra hidráulica²³, porque también desaparecen la mayoría de condicionantes a los que hacen frente las presas. Esta exigencia es precisamente lo que las ata a la cerrada y al río. Seguramente estamos hablando otro tipo de construcción, cercana a la balsa o al depósito. Pero su posición en lo alto de la cima y un perímetro de trazado sinuoso que recuerda a las piscinas más kitsch les confiere un carácter ilusorio, las convierte en una caricatura de la política hidráulica sin límites.

23 Fernández Casado, 1950, p. 187

Sistema Cortes-La Muela sobre el Júcar y balsa Montaña del Taco en Tenerife

Archivo Fotográfico de Iberdrola



*Y junto al río, el árbol
y por el río, el pez
y sobre el río, el cielo
y bajo el río, ¿qué?*²⁴

Cada primer domingo de mayo los vecinos de Argusino se reúnen para celebrar la romería de la Santa Cruz, acompañando la imagen hasta una capilla levantada orillas del pantano. Literalmente, según el Instituto Nacional de Estadística, el pueblo “desapareció bajo el embalse de **La Almendra**” en 1967²⁵, y la festividad mantiene viva la memoria y el sentimiento de pertinencia de los antiguos habitantes. En el caso de los pueblos de Valdecaballeros y Peloeche, la romería es la oportunidad para restablecer el vínculo entre ambas orillas del mar de interior; como es habitual en los pueblos marineros, la Virgen del Carmen navega en una embarcación, aquí por las aguas del embalse de **García de Sola**.

El mundo subacuático de los embalses españoles esconde unas 500 localidades que en su momento obligaron al traslado de entre 40.000 y 60.000 personas²⁶. Por decirlo de alguna forma, cada mil litros de agua acumulada ha comportado el destierro de una persona. El realojo de la población conlleva la construcción de unos 300 nuevos núcleos y de hecho se estima que la mitad de los habitantes de los poblados de colonización españoles proceden de lugares inundados. Son siempre cálculos estimativos, puesto que no existe ningún registro oficial de estas cifras, todo un reflejo de la desmemoria oficial. El recuerdo de los pueblos inundados pervive en la memoria de quienes vivieron allí y se recoge especialmente en la literatura y el documental²⁷. Estos son los medios que permiten construir una ilusión, una recreación de un lugar que ya no existe y al cual no se puede volver.

Romería de Santa Cruz en Argusino,
a las orillas de La Almendra
Fotografía Javier de la Fuente. *La Opinión de
Zamora*, 6 de mayo de 2013

Mequinensa bajo las aguas del
pantano de Riba-Roja
Espais literaris de Jesús Moncada

24 Manuel Benítez Carrasco

25 Sáenz de Oíza, 2012, p. 10

26 Estévez Torreblanca, 2012, p. 55

27 Algunas películas basan su argumento en el impacto social que supone el anuncio de la construcción de un pantano para los habitantes que van a ser desalojados. Lucía Lipschutz escribió un cuento a partir del proceso de levantamiento de la presa de Riaño, que más tarde su hijo, Enrique Gabriel Lipschutz, llevó a la gran pantalla con el título *Las huellas borradas* (1999). El mismo tema es abordado por Elia Kazan en *Wild River* (1960). Referencias cinematográficas relacionadas con la obra hidráulica se recogen en: Alejándrez, Valentín J. [et al.]. *La obra civil y el cine: una pareja de película*. Madrid: Cinter, 2005

La memoria de Mequinensa se reconstruye en la obra de Jesús Moncada²⁸ a partir de una mezcla de realidad y fantasía. Su aportación pone el acento en los profundos cambios que introdujo el pantano. Esta población, emplazada en el *aiguabarreig* de los ríos Cinca, Segre y Ebro era un activo núcleo minero y de tránsito fluvial antes de ser sepultado por la cola de **Riba-Roja** (1957-1969). El escritor recrea la época de esplendor de la población y recupera las vivencias de sus habitantes durante el largo período de incertidumbre entre los primeros proyectos de aprovechamientos hidroeléctricos y el llenado final. La mitad de sus vecinos fueron realojados en un núcleo de nueva construcción por encima del nivel máximo de las aguas, la otra mitad emigró hacia Barcelona y Zaragoza. Con el río embalsado desapareció el oficio de barquero que utilizaba el cauce para arrastrar barcos cargados de bultos desde un camino de sirga, primero con la fuerza humana y después con ayuda de animales. Y como consecuencia quedó en vías de extinción un vocabulario estrictamente relacionado con este oficio. También cambió radicalmente la estructura social del pueblo puesto que la estandarización de las viviendas del nuevo Mequinensa borró la distinción que gozaban los palacios de las familias adineradas en la trama urbana medieval.

La Almendra borra Argusino y desterra a más de 300 personas. Desterrar es “echar a alguien de un territorio o lugar por mandato judicial o decisión gubernamental”²⁹, pero en el caso de los pantanos cobra un significado especial, deja sin tierra literalmente, inunda. Los desterrados de embalse no podrán volver a sus pueblos de origen. Ni siquiera la presa o el embalse sobre Argusino fue bautizado con el nombre del pueblo como sí sucedió en tantos otros lugares como **Sau**, este con Parador incluido.

En un par de ocasiones, durante los secos inviernos de 1981 y 2012 Argusino vuelve a emerger de las aguas de **La Almendra**. Quién sabe si, además de la sequía, el bajo nivel de embalse es también debido a la regulación del mercado energético. El artificio en la concepción de la infraestructura hace el pantano muy vulnerable a los períodos de poca lluvia, ya que si el Duero carece de excedente no es necesario bombear el agua hasta el Tormes.

28 Una de las novelas más representativas de Jesús Moncada es *Camí de Sirga*. Barcelona: La Magrana, 1988. *Mequinensa* es también el título de una obra de teatro basada en la narrativa del autor, con dramaturgia de Marc Rosich y producida por TNC y Bitò Productions, 2012

29 *Diccionario de la lengua española*. Real Academia Española



La sequía depara lo peor para los desterrados como señala el escritor Julio Llamazares. El recuerdo construido del pueblo de infancia, la realidad personal, se desmorona frente la visión de sus decrepitos restos, ante los hechos:

“Cuando doblamos la curva de la presa, apareció ante nosotros la fantasmagoría del valle de Vegamián. Era el paisaje del fin del mundo, no había sonidos ni colores ni pájaros. Todo era ocre. La primera visión que tuve de mi pueblo fue el cadáver de mi pueblo y eso te marca para siempre.”³⁰

Su novela *Distintas formas de mirar el agua* pone el acento la idiosincrasia del paisaje como construcción cultural. El embalse lo demuestra con todo el vigor. Como decía Einstein “Los hechos son los hechos, la realidad es su percepción”; lo que para unos será un bello mar de interior o una magnífica forma de redistribuir los recursos de agua, para otros será la sepultura de sus raíces pero también la oportunidad para librarse de ellas. Una diferente percepción que subyace en la compleja relación entre Juan Benet y Julio Llamazares. Dos escritores de distintas generaciones, el primero de los cuales ha influido decisivamente la carrera literaria

³⁰ Entrevista de Verónica Viñas a Julio Llamazares en motivo de la presentación en la librería Méndez de Madrid de su novela *Distintas formas de mirar el agua*, Madrid: Alfaguara, 2014. Diario de León, 20 de febrero de 2015

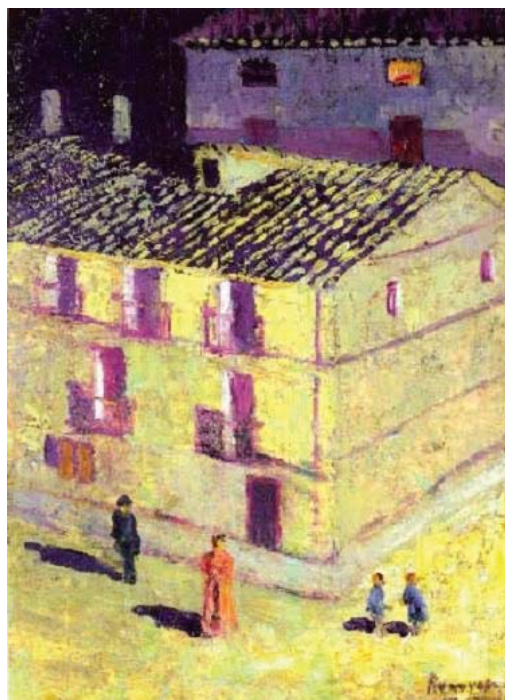


del segundo. Llamazares nace en “la Región” y tiene un acusado sentido de pertenencia al lugar donde precisamente Benet ambienta algunas de sus novelas más conocidas³¹. Sin embargo Llamazares abandona el lugar de muy pequeño y *Volverás a Región* se convierte en un oxímoron; desde 1969 los restos de Vegamián y otras cinco localidades descansan bajo las aguas del embalse de **Porma**, que en 1994 se bautiza con el nombre de su proyectista, Juan Benet.

Apoyadas en la pared blanca de una sala un montón de señales de tráfico y carteles con nombres de pueblos y distancias en kilómetros. Las señales no son nuevas, están sucias, abolladas, pintadas con graffiti y algunas incluso tienen un bolo de hormigón en la base de su poste. Esta es la intervención del artista multidisciplinar vasco Ibon Aranberri, *Dam dreams* de 2004 consistente en “preservar” las señales pertenecientes a una geografía hoy desaparecida bajo las aguas del polémico pantano de **Itoiz**. Una geografía que ya no reflejará la cartografía futura. Quedará reservada en forma de mapas mentales en la memoria de quienes la conocieron. La intervención se presenta de dos formas según evolucionan las obras del embalse. En un primer momento, expuesta en paralelo a la construcción de la infraestructura hidráulica, se disponen las señales de cara al espectador, que puede leer el

31 Las obras de Benet ambientadas en Región son *Nunca llegarás a nada*, *Volverás a Región*, *La otra casa de Mazón*, *Una meditación*, *El aire de un crimen*, *Numa: una leyenda* y *Herrumbrosas lanzas*

Mansilla de la Sierra en el embalse de Mansilla, río Najerilla
Fotografía Jesús María León



compendio de topónimos de la geografía a inundar. Cinco años después, una vez terminada la obra, en *Dam dreams (Traversed)* las mismas señales se colocan cara la pared. Una señalética muda para un territorio desaparecido.

Una escena urbana de noche, pintada en 1907 por Darío de Regoyos, recobra desde nuestro punto de vista todo el interés acompañada de su título: *Luz eléctrica en Castilla*. El sujeto de la obra no es tanto el pueblo como la luz artificial, que transforma radicalmente la percepción y costumbres de sus habitantes. La energía eléctrica permite de repente iluminar la mitad oscura del día. Es un aspecto que hoy damos por sentado pero que en su momento induce cambios profundos en el modo de vida. Es la evidencia que la afectación del embalse se extiende más allá de la presa, de los restos de instalaciones auxiliares o de la transformación del valle en que se emplaza agregando nuevas capas que desdibujan o borran las anteriores. La capacidad de transformación llega hasta donde alcance la red de distribución de agua y luz, desde la central hasta los puntos de consumo.

El agua regulada por los mares de interior, a través de los 18.265Mw de potencia instalada en saltos, aporta anualmente

Ibon Aranberri. *Dam Dreams y Dam Dreams Traversed*, 2004-2009
Fotografía José Luís López de Zubiría

Darío de Regoyos. *Luz eléctrica en Castilla*, 1906
Colección particular

35.000Gwh al sistema eléctrico español, lo que representa aproximadamente un 15% de la generación eléctrica anual³². A pesar del aumento del número de presas, el protagonismo de la energía hidroeléctrica en el mercado energético es muy inferior al 85% que representaba en los años sesenta, por la incorporación primero de centrales térmicas y después de nucleares. Cabe tener en cuenta que es un sistema de producción irregular, en función del caudal, pero extremadamente flexible, ideal para atender rápidamente las puntas de demanda sobre un fondo que cubren otro tipo de centrales. El volumen de los embalses destinado de forma exclusiva a la producción hidroeléctrica corresponde al 40% de la capacidad total.³³

De los pantanos depende el suministro de agua de boca a 30 millones de habitantes, a los que cabe sumar otros 60 millones de turistas cuya estancia coincide principalmente con la época de estiaje. Industria turística y pantanos son dos caras de la misma moneda, ambas potenciadas por las políticas de sucesivos gobiernos hasta erigirse como tópicos del país en el imaginario popular. Aún así, el principal uso del agua embalsada es el consumo agrícola, suministrando a 2,6 millones de hectáreas de regadío del total de 3,5 millones donde se practica este tipo de agricultura. Esto representa un 7% de la superficie de España y un 13% del suelo agrícola³⁴. Es en este aspecto, por su extensión territorial, donde queda patente el potencial transformador del paisaje que subyace en la presa. Las 325.000 hectáreas cubiertas por agua, obviando que una parte solo se destina a la producción eléctrica, tienen la capacidad de transformar un territorio de una extensión ocho veces superior.

Quizá el *Plan Badajoz* es el ejemplo paradigmático de la transformación de un territorio a través del regadío³⁵. El aumento de la capacidad productiva agrícola permite la colonización de una zona antes despoblada; la campiña extremeña es la promesa de una nueva vida. Los cinco primeros años de desarrollo del *Plan*

32 Buil Sanz, Gil García, 2008, p. 162

33 Buil Sanz, Gil García, 2008, p. 172

34 Girón Caro, 2008, p. 153

35 Una de las transformaciones más recientes se produce también en uno de los lugares más áridos de la península, el poniente almeriense. Conocida como "la huerta de Europa" es la superficie mas grande del continente dedicada al cultivo en invernadero. En este caso los recursos hídricos proceden principalmente de las capas freáticas, y en menor medida de los pantanos. El nuevo paisaje ha sido bautizado como *mar de plástico*



Portada de la publicación *El Plan de Badajoz*: Instituto Nacional de Industria
García de Oteyza, Martín Lobo (ed.), 1958

Badajoz se difunden con una publicación de la obra construida y los beneficios que acarrea su implantación³⁶. En primer plano torre con tendido eléctrico y un canal de riego. En el fondo una extensa llanura cultivada, de color verde, donde antes habían terrenos de secano. La puntean varias manchas rojas que son las cubiertas de los nuevos poblados de colonización. Se domestica el agua y la electricidad y se distribuye para su consumo continuo durante todo el año. Las condiciones cambian, se promete techo y trabajo donde antes había miseria y sequía. Se domestican los pobladores pasando a engrosar la cartera de consumidores de agua corriente y electricidad.

Los expertos calculan que el valor de reposición de las presas españolas es algo superior a los quince mil millones de euros. La recompensa de tal inversión repercute en diferentes sectores de la economía. Se estima que los pantanos aportan unos beneficios anuales de 23.000 millones de euros, lo que representa un 6% del valor añadido bruto nacional. Cada metro cúbico de agua regulada genera unos beneficios de unos 40 céntimos de euro, frente a los 6 céntimos que requiere la conservación del parque de presas.³⁷

La instalación *Política Hidráulica* (2004-2010) de Ibon Aranberri se basa en la acumulación de decenas de fotos enmarcadas de pantanos españoles. Las imágenes siempre son aéreas incluyendo la presa y el agua embalsada. Se exponen en varias filas de estantes apilando unos cuadros sobre otros. Su acumulación evidencia el potencial transformador de estas construcciones. Una acumulación de obras de ingeniería artífices de severos cambios de la geografía española. Cambios que trascienden la mera construcción de la presa, su llenado y el borrado de una geografía anterior. Se manifiestan con la electrificación del país, con la transformación de los cultivos de secano en regadío, con la disponibilidad de agua que permite colonizar el litoral. En definitiva unos cambios que afectan los usos del territorio, la distribución de la población y el desarrollo de la economía.

Son 1.538 presas, 1.538 intervenciones puntuales, que han redibujado el territorio, la sociedad y la estructura económica de un país entero. Suponen la domesticación de la naturaleza y la

36 García de Oteyza, Martín Lobo (ed.), 1958

37 Arteaga Serrano, Malmcrona, 2002, p. 65



construcción de un país a medida. La lucha por la disponibilidad del agua no es una tarea aislada; sucesivos gobiernos han puesto la obra hidráulica en el centro de sus políticas. Así lo refleja el gran número de presas romanas conservadas en España, la continua extensión del regadío a partir de las técnicas musulmanas, las albuheras extremeñas, los hitos técnicos y tipológicos durante los reinados de Felipe II y Carlos III, la política hidráulica de la república en aras a una teórica redistribución de los recursos, su desarrollo frenético durante la dictadura de Francisco Franco y la continuación del modelo hasta nuestros días.

El Conde de Floridablanca se hace retratar por Francisco Goya en 1783 junto a un pupitre con planos del Canal de Castilla; Manuel Gómez de Pablos González, presidente de Iberduero entre 1981-1991, lo hace entre imágenes enmarcadas de las presas construidas por el grupo energético, entre las que destacan

Manuel Gómez de Pablos González, presidente de Iberduero entre 1981 y 1991

Muriel Hernández, Chapa Imaz, 2002, vol. 1, p. 162

Ibon Aranberri en la Documenta 13 frente la instalación *Política hidráulica*, 2004-2010

Fotografía Agencia Efe, imagen simétrica

Francisco de Goya. *El conde de Floridablanca*, 1783

Banco Urquijo, Madrid

Aldeadávila y La Almendra. Ambos personajes se rodean de una ambientación muy parecida a la puesta en escena de la instalación de Aranberri, aparentemente inofensiva, pero que nos induce a pensar que la obra hidráulica es en España la máxima expresión del poder, cuyo potencial transformador ha recaído en pocas manos. Además de controlar el agua y el mercado energético, caudales para el desarrollo de un país, son artífices de su transformación física y social.

Grande y potente

Conclusiones

Pocas construcciones responden al mismo tiempo a este par de adjetivos claros y sencillos. Una presa es grande y potente. Es una impresión a primera vista, intuitiva, quizá lo que nos viene a la cabeza en la visita a un pantano. Lo saben bien los publicistas cuando seleccionan las localizaciones que sirven de soporte al producto anunciado; el carácter del fondo es clave para reforzar el mensaje a transmitir. Y la presencia de las presas en la publicidad es recurrente, especialmente en la propaganda de vehículos. De alguna forma, la presa refuerza la idea de que el coche está equipado con un motor potente, que su desarrollo técnico es un hito o incluso que puede alcanzar los lugares más recónditos. Ilustrar con presas sellos, carteles y postales también ha sido un medio de propaganda institucional, en la que, más allá de la obra de gobierno, la infraestructura representa el poder del estado y sus ideales.

No cabe duda de que las presas son las construcciones de mayor envergadura que hasta el momento el hombre es capaz de diseñar y levantar. Una carretera, una muralla, un canal o el dique de un puerto pueden ser largos; una fábrica o un aeropuerto, extensos; una torre de comunicación o un rascacielos, altos. La presa es al mismo tiempo larga, alta y extensa. Lo grande



en las presas se refiere al volumen y se mide en metros cúbicos. Solo falta que a la impronta del muro le añadimos el agua embalsada, con lo que ya hablamos directamente de la construcción más grande, sin excepciones.

Lo potente, en el lenguaje coloquial, puede reiterar la misma idea de tamaño. Pero potente entraña sobretudo la capacidad, el poder para hacer alguna cosa. La construcción de una presa parte de una idea muy sencilla, construir un tapón en una cerrada para el almacenamiento de agua, de energía. Un pantano es, en definitiva, un depósito de energía potencial. Utilizada para la generación eléctrica, para el riego o para el abastecimiento, la capacidad de transformación es de gran calado, hasta el punto de inducir cambios profundos en el territorio, la sociedad y la economía de un país.

La presa asume el papel de sustentar los empujes del agua y regular su salida; es un muro de contención con dispositivos hidráulicos. El control del coste ante el tamaño exige contención, por lo que se trata es una estructura de mínimos para acometer esta función. Carece de revestimientos, todo lo que se ve es necesario. Por este motivo, la imagen de una presa refleja su esfuerzo estructural y la huella del paso del agua. En definitiva, transmite la idea de algo potente; su carácter es inseparable de su estructura.

Esta combinación de condicionantes estructurales e hidráulicos dota a la presa de una arquitectura particular, alejada de los edificios u otras obras de ingeniería civil. Y esta arquitectura también tiene un sistema de representación determinante, el perfil. La palabra pone el acento en la forma del contorno, obviando lo que sucede en el interior de la figura, porque el espacio interior no es una cosa relevante. El corte del paramento, perpendicular al empuje y dirección del agua, expresa a la perfección el tipo estructural y el sistema de alivio. Con la excepción de algunas bóvedas, el perfil es una figura que por simple extrusión resultará en la presa completa.

El arquitecto no es ajeno a estas primeras impresiones. De alguna manera sintetizan las principales características de las presas y constituyen una primera ventana para la comprensión de su forma. Más allá de un tema epidérmico, la forma de la presa responde principalmente al comportamiento estructural e hidráulico, al que cabe añadir otros factores como la organización

de sus partes, los materiales empleados y las técnicas constructivas o su estrecha relación con la cerrada. El estudio de la forma del pantano rebasa el propio paramento, abarcando incluso la transformación del paisaje aguas arriba y aguas abajo. Nueve aspectos son determinantes en la arquitectura de los pantanos en España.

1. Evolución, intuición y error

Detrás de una idea sencilla se oculta un proceso de diseño y construcción de gran complejidad; como el salto del atleta al que se refería Eduardo Torroja, cuyo movimiento preciso y claro entraña una ardua preparación, dilatada en el espacio y en el tiempo.

Una presa es ante todo un muro de contención, una estructura que debe hacer frente a los empujes horizontales del agua, a parte de las subpresiones y peso propio. Su forma estará condicionada por el tipo estructural elegido, básicamente: gravedad, contrafuertes, bóveda, materiales sueltos o una combinación. La predominancia de lo estructural en el proyecto de una presa, junto a lo limitado de las funciones a las que debe responder ha permitido una evolución constante en el arte de su construcción.

El marco acotado de variables conduce a familias de proyectos, caracterizadas por una mejora continua en la que cada salto, nunca mejor dicho, mejora en algo al anterior. Así lo refleja el lema que abanderaba el equipo técnico de Saltos del Duero, afirmando que “nosotros no construimos una presa sino para hacer la siguiente”. Aquí toma todo el sentido el apodo de “escuela del Duero”, designando un proceso de aprendizaje, eslabón tras eslabón, en un marco de condicionantes delimitado y concreto.

Es la mejor expresión de una cadena evolutiva, según la cual se introducen mejoras de forma sucesiva. Cada nuevo proyecto no parte de una hoja en blanco, sino de los conocimientos acumulados. Es un procedimiento similar al que ha permitido la evolución de tipos arquitectónicos, como los relacionados con la cubrición e iluminación de la nave del templo, la estructuración de conjuntos alrededor del patio o los ceñidos a la organización de habitaciones y las relaciones entre ellas en un determinado tejido residencial. Sin embargo, en las presas esta evolución se produce obra tras obra, generando saltos sustanciales perfectamente identificables en poco tiempo, solamente con un lustro de

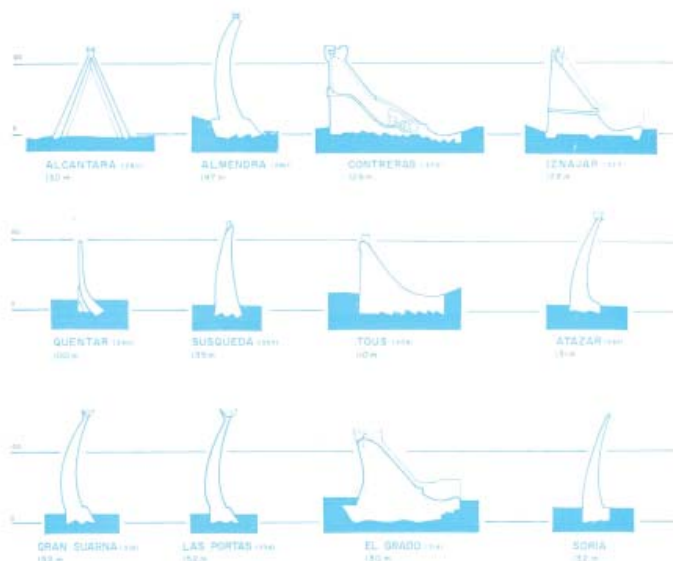
diferencia. Es difícil encontrar un proceso similar en la profesión del arquitecto, una carrera profesional concentrada en la mejora de un tipo de edificio concreto.

Capacidad de anticipación y previsión es un requisito básico del proyectista de presas. La mejor forma de asegurarse el éxito ante la introducción de una mejora es mediante el ensayo. Antes de la profusión de los programas de cálculo por ordenador, se recurría al estudio en un modelo reducido, en el caso de las bóvedas para su cálculo estructural, pero en general para el estudio del comportamiento hidrodinámico de la estructura. Las deficiencias observadas en un modelo servían para mejorar la siguiente hasta conseguir una forma ajustada al servicio deseado.

El equipo de Saltos del Duero, cuando las posibilidades económicas lo permitieron, utilizaba en una presa los métodos y técnicas que serían imprescindibles en la siguiente, de forma que hubiera un margen para la experimentación y la oportuna corrección. La apertura económica del país permite incorporar nueva maquinaria en **Saucelle** que después se utilizará en **Aldeadávila**, y la de esta, en la obra cúlspide de la regulación del sistema, **La Almendra**. De un modo similar procedía el insigne ingeniero francés André Coyne; las ataguías necesarias para desviar el cauce durante la construcción de la presa eran un banco de pruebas de nuevas ideas, limitando así el riesgo asumido.

La anticipación limita el margen de error, pero no lo anula. El fallo es una constante en cualquier realización humana y las presas no son ninguna excepción. Pero seguramente es el tipo de construcción que peor lo tolera. Al fin y al cabo, un pantano es un almacén de energía, que en caso de perder el estado de equilibrio actuará en contra del dique, la cerrada y lo que se encuentre aguas abajo.

El error señala con el dedo alguna cosa que no estaba correctamente diseñada o ejecutada, pero también arroja luz sobre algo que era desconocido. Constituye una invitación a reconsiderar algunos aspectos y aporta nuevos enfoques a la cadena evolutiva, seguramente de más calado que los que se derivan de la observación de una obra que sí funciona. Grandes errores, comportan grandes avances. En este sentido, los problemas erosivos del aliviadero de **Ricobayo**, cuyo proceso regresivo estuvo a punto de comprometer la misma presa, invitan a prestar atención a la disipación de energía en los elementos de desguace.



Hasta el momento la preocupación estaba centrada en la estabilidad del dique, quedando los aspectos relacionados con el agua fluuyente como secundarios. El laboratorio hidráulico de ensayo en modelo reducido será a partir de aquel momento una pieza clave de la “escuela del Duero”, posibilitando afrontar la construcción de presas como **Aldeadávila**, impensable sin atender a esta componente.

El aliviadero es uno de los elementos más reparado por un diseño deficiente o simplemente por la falta de datos hidrológicos en el momento de su dimensionado. La transmisión de esfuerzos de la presa al terreno constituye otra fuente de problemas trascendentales. Como el aliviadero, es una batalla que se libra más allá de los límites del paramento, pero que pide una solución satisfactoria para ganar la guerra.

En general, el ensayo de nuevas tipologías conlleva mayor riesgo de error y los incidentes se encarnizan en sus puntos débiles como ejemplifica la relación entre la rotura de **Tous** y el vertido por coronación en una presa de materiales sueltos. No es casual que el mayor número de roturas a principios de siglo XX se diera dónde más innovaciones incorporaba la ingeniería de presas, en Estados Unidos.

El error se incorpora a la experiencia induciendo mejoras en el tipo o desarrollando algunos elementos que hasta el momento



eran secundarios. Pero hace falta otro ingrediente en la actitud del proyectista, una inquietud que le permita plantear nuevos retos más allá del camino asegurado. Frente al paso firme y encauzado de la experiencia, un afán por mantener abierta la mirada al problema global e interpelar directamente a la idea inicial.

El cambio de una variable en esta reunión delimitada de condicionantes, un giro, una revuelta imprevista, otra forma de plantear la misma cuestión. Esta es la intuición según José Torán y Carlos Fernández Ordóñez, la imaginación como compendio de conocimiento más audacia según Luciano Yordi de Carricarte. Es Torán quien recurrentemente nos recuerda que la raíz etimológica de *ingeniero* proviene de *genie*, *genius*, *ingenius*, introducida por el más insigne constructor de fortalezas francés, Vauban. Un origen, por cierto, bien diferente de la palabra en el mundo anglosajón, en el que *engineer* deriva de la máquina, de *ingenia*.

Hay un común denominador en los profesionales que han dejado una huella importante en la evolución de la arquitectura de las presas. Cuando pensamos en Becerril, Benjumea, Cantero, Castro, Mendoza, Orbegozo, Peña, Rebollo, Torán, Torroja, Vallarino, Yordi y tantos otros nombres vemos personajes polifacéticos. Gente observadora, apasionada, inquieta, reflexiva. Personas que ven el mundo con perspectiva y lo comprenden al detalle. Ingenieros, empresarios, políticos, poetas, aviadores, pero sobre todo soñadores. Seguramente esta idiosincrasia es el motor para introducir tales modificaciones. Son cambios que no siempre vienen de lo observado en el proceso de construcción de una obra tras otra, sino de un pensamiento más abstracto, practicado en múltiples tareas que actúan como vasos comunicantes. Es lo que comúnmente se denomina “pensar a lo grande”, aunque sea en el estudio del detalle constructivo. Pero al perfil del soñador le falta aún otra mitad, el hemisferio que estructura las ideas y proyecta la forma de llevarlas a cabo con éxito, el del estratega. La audacia es indispensable a todos los niveles de una empresa hidráulica, desde la elección de la cerrada hasta la puesta en obra del hormigón.

El repertorio de presas españolas anteriores a la generalización de sistemas racionales de cálculo y diseño está trufado de realizaciones de referencia mundial, pioneras en la incorporación de nuevas tipologías y generalmente de grandes dimensiones. Unas construcciones cuyos referentes, si es que los hay, no se



encuentran en el mismo campo y por lo tanto solamente son explicables desde la intuición.

La presa romana de **Proserpina**, constituida por un muro con contrafuertes aguas arriba y un espaldón de tierras se puede entender como una transferencia tecnológica de la construcción de carreteras. Las presas de arco-gravedad de **Tibi**, **Relleu**, **Almansa** y **Elche** de los siglos XVI y XVII resultan de una especulación sobre la mejora del trabajo del muro a través de la forma arqueada, como girando el eje de una estructura utilizada para cargas verticales. La repetición de arcos da lugar a las presas de bóvedas múltiples, precisamente definidas como “una puente hechada” por Cristóbal Antonelli en referencia a la propuesta alternativa de Juan de Herrera para **Tibi**, una fórmula tímidamente ensayada en la presa romana de **Esparralejo**.

En la familia de presas antiguas extremeñas, construidas entre los siglos XV y XVIII, abunda el trabajo con estructuras de contrafuertes a los que se adosa el molino. Destaca especialmente la

presa del **Estanque de Guadalupe**, el primer ejemplar conocido del grupo y también el más audaz. En lugar de proyectar una presa a la que se le adosa un molino, el **Estanque** se concibe al revés, como una fábrica de molienda; una estructura reticular pautada por un sistema de arbotantes y contrafuertes entre muros longitudinales, asimilable a otras naves civiles o religiosas. Con un refuerzo de los contrafuertes y del muro aguas arriba la estructura resultará suficiente para que funcione a la vez como presa.

Normalmente, este primer paso fundacional adapta para un nuevo uso una cosa existente, a partir de leves modificaciones. Es un camino similar al que erigió el Crystal Palace como una obra revolucionaria, cuando para Joseph Paxton no era más que otro invernadero. En estos ejemplos, la claridad conceptual no está reñida con una hibridación tipológica dando lugar a combinaciones de materiales sueltos-contrafuertes, arco-gravedad, bóvedas múltiples-gravedad o estructuras reticulares. Generalmente serán la experiencia y el conocimiento responsables de afianzar estas nuevas vías, que ocasionalmente quedarán como una excepcionalidad aislada, sin precedentes ni descendentes. El proceso evolutivo conducirá a un encasillamiento tipológico, definiendo un claro confinamiento de lo experimentado frente a lo desconocido.

El proceso evolutivo y especialmente estos casos excepcionales aislados son la demostración que un mismo problema puede resolverse de varias maneras. Todo depende del enfoque y la mezcla de ideas y referencias que incurren en la obra. Cualquier solución será válida si garantiza la seguridad y no se aleja de los cauces de lo óptimo y lo eficiente.

La arquitectura de las presas es una arquitectura de mínimos. Almacenar la máxima cantidad de agua con el mínimo esfuerzo y el mínimo coste. Pero lo mínimo no es únicamente una cuestión económica, sino también una postura ideológica. Así lo demuestran las innumerables propuestas de tipos alternativos al de gravedad de principios del siglo XX, basadas todas en concebir una forma que responda de manera más óptima a los empujes horizontales en lugar de una acumulación desproporcionada de material. Lejos de experimentos puntuales, los tipos solo adquieren continuidad cuando se aúnan en la batalla la postura filosófica, las herramientas de cálculo necesarias, los medios técnicos,

la economía, la seguridad y lo que es más importante para el promotor, la percepción de seguridad.

Cuando un tipo está establecido puede caer en la obsolescencia por la evolución social y económica del país, a la que contribuyen también los pantanos. El camino hacia búsqueda de las estructuras ligeras se interrumpe en seco cuando el coste de la mano de obra es elevado y se puede afrontar la adquisición de maquinaria pesada capaz de mover grandes cantidades de material, cuando el ahorro en el uso de materiales y el coste de la obra dejan de caminar a la par. La irrupción de las presas de materiales sueltos representa un exabrupto frente la posición ideológica que subyace en la persecución de la ligereza. Puede parecer un sistema primitivo y banal, aunque quizá es más sofisticado porque en ella subyace otra forma de hacer frente a la estanqueidad. En vez de cortar de forma estricta el paso de agua frente a un paramento infranqueable, la estructura de materiales sueltos libera una batalla con el líquido interponiendo filtros de distinta granulometría hasta agotarlo.

2. La caja de herramientas

Las escuetas funciones a satisfacer dan lugar también a un limitado repertorio de elementos: cerrada, ladera, ataguía, túnel de derivación, paramento, talud, zócalo, coronación, estribo, pila, compuerta, aliviadero, cajero, trampolín, desagüe de fondo o de medio fondo, torre de toma, turbina, cámara espiral, cámara de equilibrio, sala de excitatrices, etc. Este conjunto de palabras constituye el vocabulario básico del proyectista de presas. Unos términos de uso poco común, lo que quizá evidencia que las presas son construcciones alejadas de la actividad humana. Sobre todo, si lo comparamos con los elementos que maneja el arquitecto que sí forman parte del lenguaje habitual, a pesar de que el relato de un proyecto pueda complicarse hasta límites insospechados.

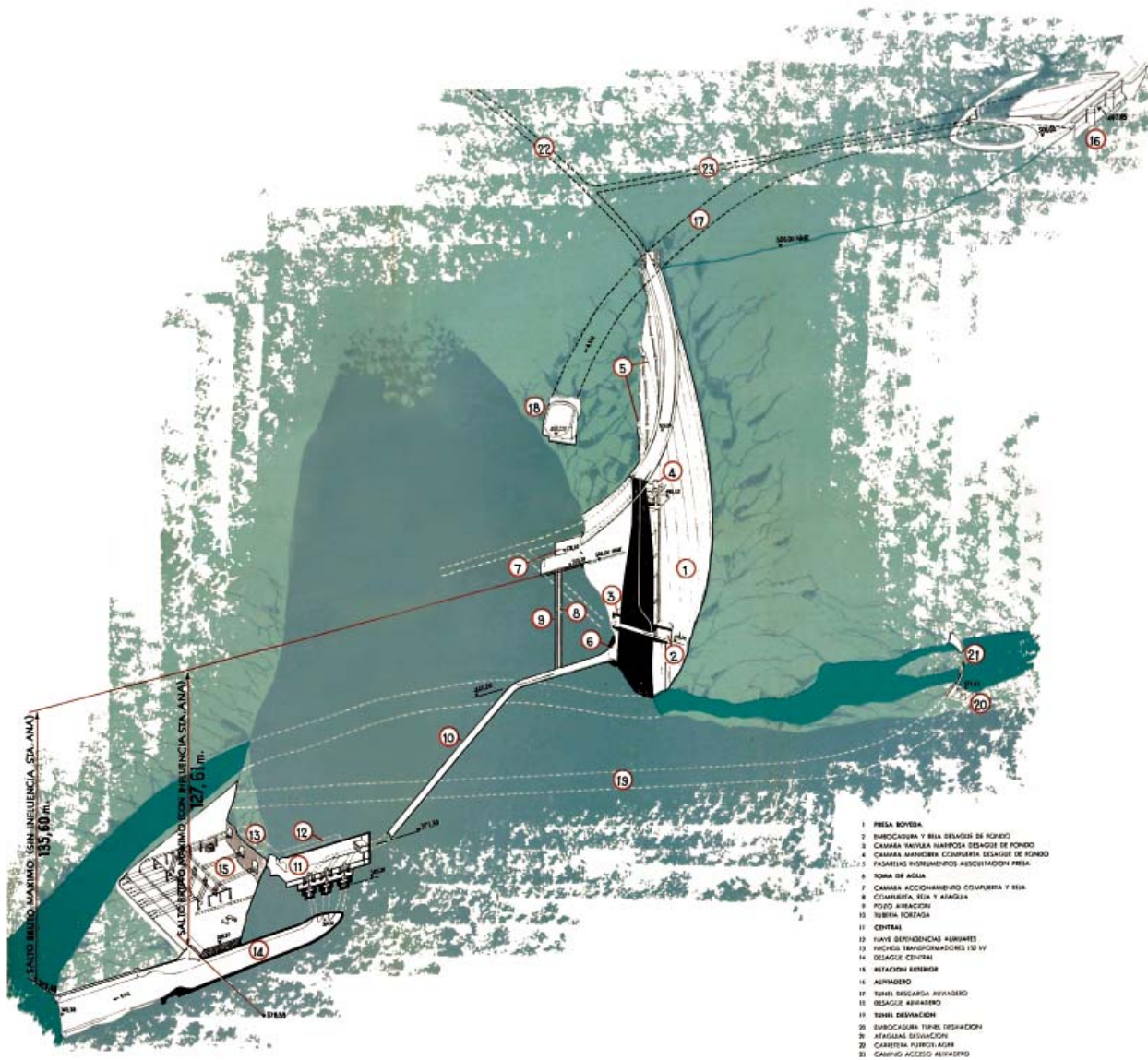
El vocabulario del ingeniero de presas es también la caja de herramientas con la que acude al emplazamiento. Está compuesta de un número reducido de elementos, la mayoría de los cuales son siempre imprescindibles porque hay unas invariables a satisfacer. Pero cada elemento es preciso y está pensado para una función muy concreta. La virtud del proyectista estará en seleccionar los

elementos necesarios, dimensionarlos correctamente y combinarlos de una forma acertada. Al contrario de lo que podría parecer, ante unas reglas de juego estrictas, la variabilidad de resultados es máximo, de forma análoga a las partidas posibles sobre un tablero de ajedrez.

La resolución de los retos que plantea el mismo proceso evolutivo, los condicionantes del emplazamiento o el aumento de funciones a cumplir, equipa la mochila del ingeniero con nuevos elementos. Este es el caso de los derivados de la producción de electricidad. Los intersticios de las estructuras aligeradas, en contrafuertes o bóvedas múltiples, darán cobijo de forma “natural” a las centrales hidroeléctricas. Sin embargo, el proceso más habitual en los primeros aprovechamientos hidroeléctricos es la yuxtaposición de dos elementos ya existentes: la presa y la nave con cubierta a dos aguas y grandes ventanales. De modo similar sucede en el campo de las máquinas, explicitado en la forma de llave de gas de los primeros interruptores o la suma de carruaje y un motor en los primeros automóviles. El desarrollo de la forma de las presas, la morfogénesis según Carlos Fernández Casado, conducirá al acoplo de ambas partes integrándolas en una unidad superior, cuya mejor analogía es el capó envolvente de los vehículos.

El proyecto para la presa de **Jándula** condensa de manera ejemplar este proceso de evolución formal. Primero se concibe la central como un edificio aislado y con un sistema constructivo y lenguaje independiente, posteriormente se propone yuxtapuesta a pie de presa y finalmente es engullida bajo un mismo paramento.

Algo parecido sucede con los elementos hidráulicos. Hasta el primer tercio del siglo XX, la salida del aliviadero es tratada como un tema secundario, cuyo trazado discurre por un portillo lateral o un canal abierto a la ladera sin obra de restitución. Siguiendo un proceso similar al de la central, estos elementos se reúnen al cuerpo de la presa con el vertido por coronación. La yuxtaposición de la tríada de elementos es popularizada por André Coyne, aunque respondiendo a estructuras formales diferentes, unas derivadas de la estabilidad, otras de la hidrodinámica. Es pionero el caso de **Gaitanejo** a finales de los años veinte del siglo XX, ideada como un puente de bóveda rebajada entre estribos con una plataforma inferior para la central y otra superior como techo y aliviadero. La morfología del volumen compacto de Ben-



jumea responde simultáneamente a todos los requisitos.

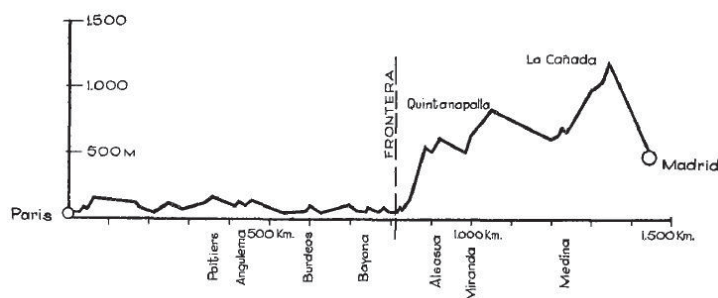
La estrechez de la cerrada o un alto caudal de avenidas son factores decisivos para que el proyectista ponga los cinco sentidos en estudiar una forma segura y fiable de evacuar el agua. Este es el caso de las presas móviles como **Alcalá del Río**, cuya presencia debe desaparecer en caso de riada para impedir a toda costa una subida del nivel de agua. A pesar del oxímoron que entraña su denominación, se conciben también como la adaptación de dos estructuras existentes, la suma de un azud y una batería de compuertas. La presa de **Aldeadávila**, responde también a un diseño fuertemente condicionado por el caudal y la estrechez de paso. Durante su diseño debe desestimarse el tipo estructural más favorable, la bóveda delgada, por otro en arco-gravedad cuyo paramento es un gran aliviadero que acompaña el agua hasta el cauce.

La incorporación de un nuevo tipo, como los materiales sueltos, será también el comienzo de un nuevo proceso de morfogénesis. Las herramientas del ingeniero deberán combinarse según unas nuevas reglas de juego, replanteando el papel que asumen en el conjunto la central y los sistemas de toma y alivio.

3. Cocina de mercado

La otra mitad del diseño de la presa debe al emplazamiento, y no estamos hablando del primer plano de un proyecto ejecutivo. Es una tarea que empieza mucho antes de la construcción, seleccionando el portillo óptimo, aquel que cerrándolo con la mínima obra genere el máximo almacenamiento de agua. Una tarea reservada al estratega, que emparenta el proyectista de presas con su antecesor, el ingeniero militar. El mapa mental de un país para un especialista de presas se estructura en torno las cuencas y su orografía, del mismo modo que para el alpinista el territorio se resume en un conjunto de picos.

La cerrada elegida conviene que ofrezca un buen soporte estructural y garantice la impermeabilidad. El papel de la presa en el pantano es como el de la clave en el arco. Es imprescindible para embalsar el agua, pero solo lo conseguirá si trabaja de forma equilibrada con la cerrada. El ingeniero deberá empaparse de este entorno, como si se pudiera meter dentro el río y dentro de la roca.



En poco tiempo de diferencia ocurren los accidentes de las presas bóveda de **Malpasset** y **Vajont**, una por el colapso de la ladera, la otra por desprendimientos sobre el vaso. Son un serio aviso, a la entonces incipiente experiencia española en el campo de las bóvedas, de que el terreno de apoyo debe conocerse a fondo, más aún en una estructura que no únicamente solicita los sustratos del cauce, sino también las laderas. Los autores de **Belesar** o **Susqueda** reconocerán haber destinado como mínimo el mismo esfuerzo en diseñar la bóveda que en conocer el terreno de apoyo, evidenciando que son aspectos hermanados.

Seguramente la presa es la construcción que mejor armonía mantiene con el entorno. En ningún caso este es un tema epidérmico, sino que ahonda en los cimientos del concepto. La integración en el paisaje de una presa es la condición indispensable para su permanencia. Es el resultado de un ejercicio de previsión según el cual las modificaciones planteadas en el emplazamiento conducen a nueva situación de equilibrio. De no ser así, en el mejor de los casos la obra reclamará largas y costosas obras de rectificación.

El proyecto de la presa es un proyecto de anticipación, de prever el equilibrio frente a la situación que la construcción provoca en el cauce del río. Y conseguir el equilibrio con el agua es quizá el mayor reto. Debe garantizarse que la energía que hemos acumulado no se disipe poniendo en peligro la estructura y el terreno de agarre, que la impermeabilidad de la presa también se complemente con la de la cerrada y que la estabilidad de la cerrada vacía se mantenga una vez llena. Solo una perfecta comprensión de los factores del emplazamiento garantizará la elección del camino a seguir.

La presa vuelve a cerrar un vaso, justamente en el lugar donde



el río puso más empeño en abrirlo. El aprovechamiento de los materiales que se tienen a mano es una característica compartida por todas las presas por razones obvias de ahorro en transporte. Agua, arena, grava y piedras procederán en la medida de lo posible del mismo emplazamiento. Atendiendo al volumen e importancia de la construcción, cualquier ahorro tendrá repercusiones importantes.

Si el cemento permite construir cualquier forma preestablecida en hormigón, el perfil de un talud de escollera o de tierras dependerá exclusivamente del tipo de material empleado. La voluntad del proyectista estará supeditada al aprovechamiento de lo que tiene a mano. Es, por así decirlo, una cocina de mercado en la que el perfil de la presa y el grosor de las diferentes capas que la componen se define en función de los materiales del emplazamiento, empleando en muchos casos los residuos de excavación. No en vano, este tipo experimentó un gran desarrollo en las cuencas mineras americanas fruto de congeniar dos aspectos contingentes a la misma explotación: demanda de agua y disponibilidad de gran cantidad de residuos. Difícilmente habrá dos presas de escollera iguales, más teniendo en cuenta el amplio abanico de acabados que brinda la menor inclinación de los paramentos y la constitución granular del cuerpo, permitiendo incluso un talud vegetado.

4. La cimbra y el arco

Una presa es construcción en estado puro. En esto no hay término medio. Todo lo que se realiza es necesario y no hay espacio para la gratuidad ni la improvisación. El diseño de la presa está intrínsecamente vinculado a la planificación de su proceso constructivo. En las cerradas menos accesibles los trabajos preparatorios suelen prolongarse más tiempo que la propia construcción del paramento.

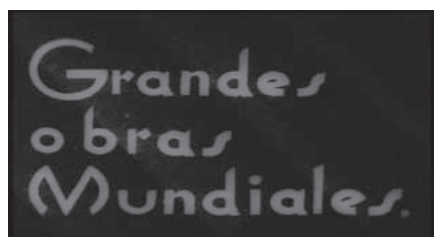
Es necesario abrir carreteras de acceso, construir una ataguía e idear un paso alternativo para el río. Instalar plantas de tratamiento de áridos y ocasionalmente de fabricación de cemento. Primaran las operaciones estratégicas que sirvan para más de una cosa, el túnel de desvío se aprovechará como aliviadero, la galería de prospección servirá para acometer inyecciones de impermeabilización o extraer residuos de excavación de una central interior.

El trazado de las instalaciones de transporte como grúas o blondines hasta el propio cuerpo puede incluso condicionar su emplazamiento. Los medios disponibles y la cantidad de trabajadores empleados contrastan, especialmente hasta los años setenta, con los humildes pueblos que los recibían. Las máquinas más modernas y la anhelada equiparación con los países más avanzados han entrado durante muchos años por la puerta de las presas.

Una concienzuda preparación es imprescindible para un salto brillante, sea del atleta o de la presa. Un ejército de obreros y máquinas bailarían a un compás perfectamente estudiado, de movimientos escuetos y precisos, envueltos en una atmósfera sonora peculiar. Una sincronía dictada por la eficacia y el rendimiento de la puesta en obra.

El espectáculo del proceso constructivo no deja indiferente a cualquiera con un mínimo de sensibilidad. Es el punto de coincidencia entre las vidas de Fernando López Heptener y Jean-Luc Godard. Ambos trabajando en obras de primera línea mundial tanto desde el punto de vista de la técnica como de la puesta en obra. El primero como delineante y topógrafo de Saltos de Duero desde 1929 en el salto de **Ricobayo**, el segundo como peón en la construcción de la presa suiza de **Grande Dixence**, terminada en 1954.

Grandes obras mundiales será uno de los primeros documentales industriales sonoro de España. A partir de este momento



la carrera fílmica de Heptener estará estrechamente ligada a las construcciones hidroeléctricas principalmente para Iberduero y No-Do. Por su parte, el cortometraje *Opération "Béton"* constituirá el primer andar de la brillante carrera de Godard.

El interés de estas películas reside en haber documentado el proceso constructivo y el trabajo de los obreros desde la óptica de cineasta y obrero a la vez. Una suma de sensibilidad artística y cierto conocimiento técnico de la construcción. Sin duda alguna, un producto más intenso del que se podría esperar del vídeo industrial encargado por gobiernos o empresas para publicitar el esfuerzo titánico dedicado a estas construcciones y legarlo a las futuras generaciones.

Robert Smithson sugirió que la experiencia estética de la obra de infraestructura se encontraba en las fases de su proceso constructivo. En etapas intermedias en las cuales la obra no estaba completada, ni siquiera se advertía su forma final. Su interés plástico era inversamente proporcional a su utilidad. Como máximo representaba un nivel de transformación en su emplazamiento, que ya no recuperaría su estado inicial, pero era la promesa de una transformación futura.

Este cambio de actitud se puede entrever en la presentación de Arthur Drexler para la exposición *Twentieth Century Engineering*, celebrada en el MoMA en 1964. En ella se mostraban grandes

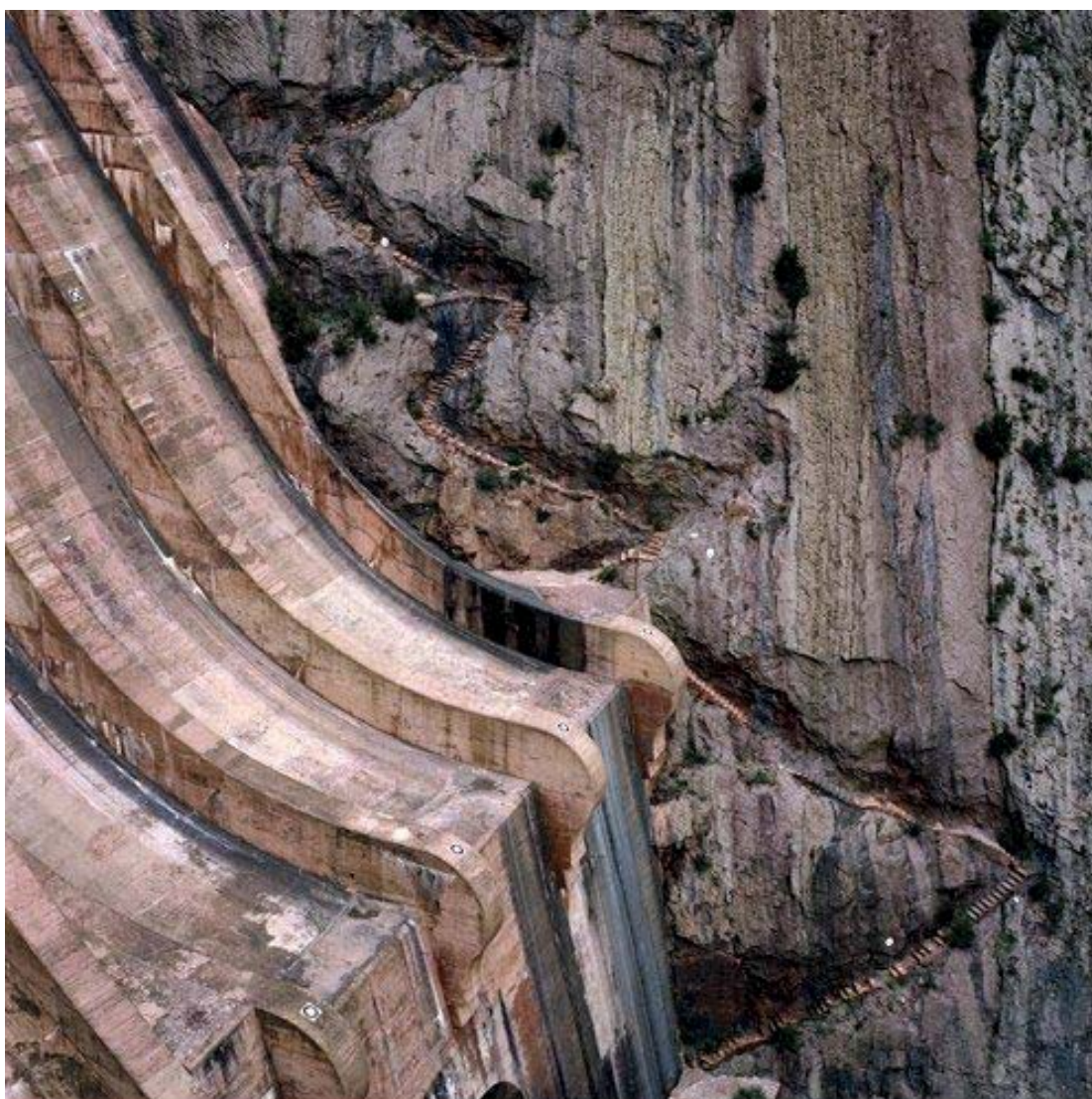


fotografías de las últimas obras de ingeniería completadas en el mundo. La presentación del catálogo decía que “En los veinte y treinta presas, puentes y silos eran tomados como prueba de la capacidad de nuestra civilización para igualar la grandeza de las pirámides egipcias y los acueductos romanos. Como las grandes obras del pasado nuestras estructuras monumentales normalmente usan formas geométricas a gran escala y carecen de detalles superfluos”. Queda claro que sigue hablando de geometría, escala y proporción en relación a la experiencia estética ante la obra de ingeniería, pero hábilmente abre la observación comentando lo que se valoraba tres o cuatro décadas antes.

5. Espléndidamente imperfecto

Acabada la obra, el valle sucumbe de nuevo en el silencio y la soledad, no obstante despierta con una nueva fisonomía. Preside la geometría clara y precisa de la presa y la lámina de agua embalsada. Pero si nos acercamos hasta poderla palpar nos llevamos una sorpresa ante la imperfección de su acabado. Algo similar a lo que sucede al tocar la pata del elefante o el tronco del árbol centenario.

La imperfección es un libro abierto a las vicisitudes del proceso constructivo que la ha hecho posible. No hay una “piel” de



acabado ni voluntad alguna de ocultar nada. Incluso el revestimiento, de haberlo, es inseparable porque responde a una construcción a la romana. Filas de sillares, juntas de bloques de hormigonado, juntas de encofrado, tongadas de hormigón, grandes rebabas junto la ladera dibujan un mapa de su construcción y de sus dificultades. Es una reproducción a escala uno a uno de los planos de detalle velada por una capa de contingencia.

La imperfección, la huella de la construcción acerca la presa al trabajo del artesano, una pieza moldeada in situ por mil manos.



6. Reparar

Filtraciones, un aliviadero mal dimensionado, problemas de estabilidad de las laderas, erosión a los pies de un trampolín. Cualquier desvío en el equilibrio previsto para la nueva situación que genera la presa requerirá intensas obras de reparación. El mínimo problema puede devenir un gran reto, por lo que su solución, lejos del apaño, requerirá un estudio exhaustivo.

El cuerpo de la presa y sus órganos de desagüe podrían responder a ejercicios teóricos, ajustados después en respuesta al medio físico de la cerrada. Sin embargo, la reparación exige trabajar desde el primer momento con el emplazamiento. El estribo de **Canelles**, el cuenco amortiguador de **Ricobayo** se ahorman con la fisiografía existente.

Las obras de reparación acaban colmatando la integración de la presa al paisaje. Esta operación desdibuja los límites visuales entre la presa y su entorno, exteriorizando la magnitud del pacto que la presa establece con la cerrada. Modelar y moldear son aspectos que remiten otra vez a la mano y al artesano, una persona que reconoce con el tacto la calidad del material de trabajo y sus reacciones.

7. Movimiento congelado

La horizontalidad del coronamiento de la presa es una condición irrefutable, un reflejo del embalse que se extiende aguas arriba. La introducción de la línea y el plano horizontal, especialmente

en valles abruptos, es la huella más evidente del artificio, el espejo de la racionalidad.

Esta presencia incontestable contrasta con una ausencia de primer orden, la vertical. El ángulo recto es prácticamente inexistente en la arquitectura de los pantanos; otra cosa es la sensación de verticalidad que nos pueda dar en relación con el entorno. Si el ángulo recto es la componente geométrica que define por antonomasia el buen aplomo y la buena construcción del edificio, la presa se caracteriza por el talud. Es una ausencia como respuesta estructural al dominio de la horizontalidad, a un ejercicio basado en contrarrestar esta componente para reconducirla hasta el cauce o las laderas.

Aunque sea de bóveda, el muro de una gran presa es de grosor variable. La esbeltez de un dique se mide en función del pendiente de sus paramentos, con una correspondencia directa con el volumen construido. Solo se hace presente la vertical en la cara aguas arriba de algunas presas de gravedad, pero la inclinación del paramento suso es un factor de forma indispensable para movilizar el peso del agua a favor de la estabilidad de la estructura, especialmente en los tipos aligerados.

El resto de formas de la presa dependerá de la tipología del paramento y la combinación con los demás elementos. La fuerza visual de los cuerpos aligerados radica en su gran capacidad para transmitir al observador la batalla que libran por el sustento de los empujes horizontales. En la curvatura del arco, la doble curvatura de la bóveda o en la repetición y consecuente verticalidad de contrafuertes y bóvedas múltiples todo es musculatura.

La forma del paramento es determinante en la estabilidad estructural, de una forma análoga al aumento de la capacidad resistente de una hoja de papel mediante el simple plegado o doblado. Pero la precisión y claridad formal de estas estructuras dificultará la combinación con el resto de elementos como ejemplifican las presas de portuguesas de **Miranda** y **Picote** en el caudaloso Duero internacional.

El vertido libre por coronación, como en el caso de **Eume** o **Susqueda**, es el mejor aliado de la bóveda, porque explota la condición de sobrevuelo de la coronación sobre la base, derivada del diseño estructural. **Belesar** y **La Almendra**, recurrirán a trampolines laterales con un papel activo en la estabilidad de los estribos, a modo de alargados soportes. Más difícil es la evacua-

ción sobre paramentos de contrafuertes sin alterar la cadencia estructural.

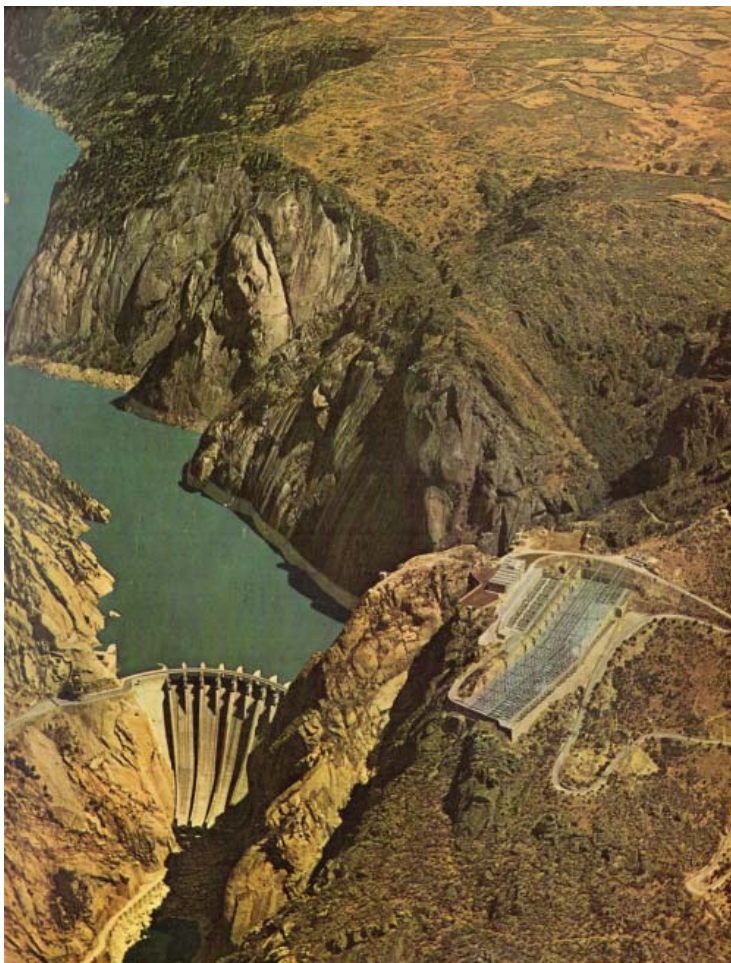
Solo en caso de caudales reducidos se podrá adaptar la forma del contrafuerte como trampolín de alivio, un recurso utilizado en **Riofrío** o **Anchuricas**. La ubicación de la central y de las tomas de agua también tendrá un difícil encaje con estos tipos, planteándose normalmente de forma separada. Es relevante en este sentido la presa de **Valdecañas**, en la que a pesar de mantener autonomía, la central se yuxtapone a pie de presa de forma armónica, protegida por una contrabóveda.

Las presas de gravedad responden a los empujes con masa, siendo la forma menos trascendental a efectos estructurales. De esto resulta un paramento yuso uniforme y de menor inclinación. La relajación tensional tiene un paralelismo directo en el carácter que adquiere el dique y la sensación ante él. Esta indeterminación ofrece un mayor margen a posteriores modificaciones o recrecimientos, pero sobretodo facilita la manipulación formal durante el proceso de diseño.

El vertido por coronación será posible moldeando un paramento afín a ambas solicitudes, haciendo confluir las formas derivadas de la resistencia con las que dan respuesta a la evacuación del agua. A mayor caudal será requerido una mayor pendiente de los canales, haciendo especialmente oportunas las presas de arco-gravedad o bóveda gruesa como **Aldeadávila**. La menor inclinación del paramento facilitará la incorporación de la central a pie de presa estableciendo una continuidad entre el techo de esta y el dique. Así lo anticipa **Jándula** y lo resuelven a efectos de evacuación **Salime** y **Contreras**.

Podría parecer que las presas de materiales sueltos, al ser más voluminosas que las de gravedad, diesen aún más margen a este trabajo de adaptación y confluencia de distintos usos en un paramento. Sin embargo, es todo lo contrario por la distinta naturaleza de los materiales empleados para el dique y para el aliviadero en respuesta a comportamientos hidráulicos opuestos.

La presa y el pantano son la foto fija de un organismo cambiante y fluyente. La forma estructural es la forma congelada de la transmisión de esfuerzos. La forma hidrodinámica la foto congelada del paso de agua. Las bandas áridas que caracterizan inequívocamente la ribera del mar de interior la máxima expresión de su funcionamiento.



8. La liga de los hechos geográficos

La presa es una construcción desvinculada completamente de la ciudad, aunque esté a su servicio. Puede haber puentes en el campo y puentes urbanos, el puerto siempre está vinculado a una urbe y las carreteras conectan poblaciones. Salvo raras ocasiones como **Alcalá del Río**, la presa está desvinculada del contexto urbano. Esto la libera de cualquier relación escalar con otras edificaciones, que seguramente sería abrumadora. Pero también la ha mantenido al margen de las encendidas discusiones sobre la estética de las obras de ingeniería como el puente.

Forma parte de un conjunto de construcciones fuera de lo común por lo que refiere al tamaño, que quizá solo tiene parangón en las pirámides. La catedral y la fábrica pueden ser grandes



y de otra escala respecto al tejido urbano que las circunda, pero la presa es enorme, descomunal y abrumadora. La presa es pensada por el hombre pero no está pensada para él. En las construcciones comunes sabemos leer pórticos, ladrillos, ventanas, puertas; la presa en general se no presenta referencias a la escala humana. Quizá algunas escaleras de registro o detalles de la coronación pueden dar alguna pista. El templo interpela a dios, la factoría a la máquina, la presa al cosmos. En lo físico y en lo simbólico la presa juega en la liga de los hitos geográficos.

Como la montaña, solo descubrimos su perfil a lo lejos o desde el aire. Este es un aspecto que supera la estricta realidad dimensional para adentrarse en el campo sensitivo. Sentimos una atracción especial hacia las cosas grandes, colosales. Deseamos acercarnos entrando en el campo sensitivo de su presencia. Del mismo modo que cambia nuestra experiencia en el espacio público en función de la altura de los edificios y la separación entre ellos, la presa se deja “notar” ya desde lejos. Cualquier visión próxima es parcial. Desde la coronación de una bóveda sentimos el vértigo de estar en un balcón volado a gran altura. Junto al paramento nos sentimos fuera de lugar, no hay donde referenciarse.

Sin lugar a dudas se trata de una arquitectura espectacular, pero sin que sea esta su pretensión. Como señala Lluís Clotet en relación a **Susqueda**, lo antinatural o forzado sería que se quisiera disimularlo. Lo espectacular es intrínseco al tamaño de

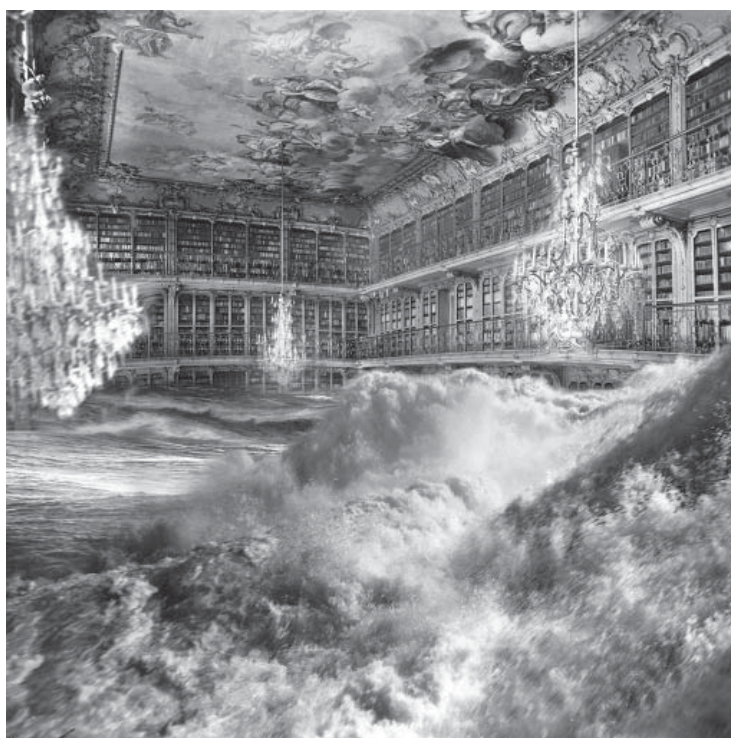


la construcción, a sus proporciones, pero también al esfuerzo que requiere su construcción. Proyectar una presa implica pensar a lo grande, en todos los sentidos.

El descubrimiento de los espacios interiores es igualmente intenso. Son espacios vaciados en el macizo rocoso o burbujas de aire reservadas en la masa del hormigón. Son al paramento lo que la gruta es a la montaña. Como el cuerpo de la presa, todo lo que las define espacialmente es estructural. Su forma es su estructura, y en los paramentos también están impresos los indicios de la técnica empleada. El acceso a estos espacios no es inmediato, normalmente deben recorrerse largas galerías que nos preparan para la entrada a la gruta principal; las salas de las excitatrices o los esplendidas salas en los estribos de **Susqueda**. El ambiente es extremadamente ruidoso y estamos condicionados por estar bajo el cuerpo de la presa o bajo tierra. El sofá panóptico de **Salime** o la cristalera detrás de la lámina vertiente de **Gaitanejo** nos recuerdan de dónde venimos.

9. Atar las aguas

La presa es el fin y el inicio de un ciclo. Cierra el portillo donde precisamente el río más energía ha destinado para atravesar, empleando para ello los materiales de la misma cerrada. Su presencia establece un nuevo orden, una nueva situación de equilibrio energético y tensional. Es una intervención puntual que



afecta a todo el río, partiendo su cauce en dos. El río renace después del dique, perdiendo gran parte de su caudal y por tanto su capacidad de modificar la orografía por erosión o sedimentación. El pantano altera el ecosistema fluvial e incluso puede llegar a cambiar el clima.

Sus aguas cambian el paisaje; la amplitud y horizontalidad perfecta en el seno del valle más abrupto, el mar en medio de desierto. Pero bajo ellas desaparece un territorio del mapa, de forma literal, resumido en una simple mancha azul, en la que adivinamos una cabeza y múltiples colas. Este lugar solo pervivirá recreado en el imaginario de las personas desterradas. En épocas de sequía afloraran sus restos como una pesadilla, los despojos de un cadáver, la prueba del delito.

Los mares de interior, son los artífices de la transformación social y económica del país a través de la puesta en regadío de millones de hectáreas de terrenos de secano, insuflando nueva vida a lugares áridos. Los regadíos del Ebro, la huerta levantina o el plan Badajoz son ejemplos de esta transformación territorial. Sus aguas abastecen a una gran proporción de la población



española, concentrada en zonas costeras, además de los millones de turistas que visitan el país.

Colateralmente su presencia duplica la línea de costa constituyendo un reclamo de ocio de primer orden para los municipios de interior. Pantanos y turismo son dos tópicos nacionales, pero también dos caras de la misma moneda. Desde el punto de vista energético la introducción de la luz eléctrica supuso unos cambios en la forma de vida que ahora son difíciles de imaginar, además de permitir la industrialización del país.

En efecto, una intervención puntual con efectos a gran escala. La presa es seguramente la construcción con más potencial de cambio inherente. Los pantanos son una forma de organizar el territorio, de modelarlo en función de unas ideas de reequilibrio ideal. Responden a un trabajo constante de dos milenios que no distingue entre creencias religiosas ni políticas. Un trabajo arduo para domesticar un país difícil, de mal acomodo. Modifican el territorio, la economía y permiten la regulación o fabricación de los dos elementos más preciados: el agua y la energía.

Las presas son la máxima expresión del poder, un libro abierto

a la evolución técnica y el espejo de la relación del hombre con la naturaleza. Una relación cambiante, hasta el punto de que a día de hoy sería impensable la construcción de la mayor parte de presas que se reúnen en esta tesis. Lo que en algún momento era el icono de la modernidad, la piedra angular de un porvenir prometedor, representa ahora para un amplio sector de la sociedad, una amenaza en muchos aspectos. A pesar de ello, la presa seguirá siendo grande y potente.

BIBLIOGRAFIA

- Alcaide, Julio [et al.]. *Compañía Sevillana de Electricidad: cien años de historia*. Sevilla: Fundación Sevillana de Electricidad, 1994
- Aguiló Alonso, Miguel. *La enjundia de las presas españolas*. Madrid: ACS, 2002
- Aguiló Alonso, Miguel. *El paisaje construido, una aproximación a la idea de lugar*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1999
- Alejandro, Valentín J. [et al.]. *La obra civil y el cine: una pareja de película*. Madrid: Cinter, 2005
- Álvarez Martínez, Alfonso. "Consideraciones generales sobre las presas españolas de tipo bóveda". *Revista de Obras Públicas*, 1964, núm. 2988, pp. 281-290
- Alonso Franco, Manuel; Polimón López, José (ed.). "Comité Español de Grandes Presas: informe general". *Revista de Obras Públicas*, 1992, núm. 3309, pp. 9-104
- Aymard, Maurice. *Irrigations du Midi de l'Espagne: études sur les grands travaux hydrauliques et le régime administratif des arrosages de cette contrée*. 2 vols. Paris: Eugène Lacroix, 1864
- Berga Casafont, Luis (ed.). *Las presas en España*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2008
- Bernal, Antonio-Miguel. "Etapa fundacional y proceso integrador de las compañías matrices del sur peninsular (1894-1968)". *Compañía Sevillana de Electricidad. Cien años de historia*. Sevilla: Fundación Sevillana de Electricidad, 1994
- Bestué, David. *Realismo*. Catálogo de exposición en La Capella, Barcelona, 27 de mayo a 5 de julio de 2015. Barcelona: Institut de Cultura de l'Ajuntament de Barcelona, Folch Studio, 2015
- Bonet Correa, Antonio. *Arquitecturas singulares: ingeniería y arqueología industrial*. Madrid: Editorial Biblioteca Nueva, 2013
- Bueno Hernández, Francisco. "Las formas de las presas: formas estructurales y formas hidráulicas". *Ingeniería y Territorio*, 2008, núm. 84, pp. 56-67
- Campo y Francés, Ángel del. *José Torán: un ingeniero insólito*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1992
- Campo y Francés, Ángel del. «El trasunto megalítico de las presas y su ostensibilidad estética en el paisaje natural de los valles». *Revista de Obras Públicas*, monográfico VIII Congreso de Grandes Presas, Edimburgo, 1964, núm. 2988, pp. 513-519
- Castro Cardús, Santiago de. «Estética de Presas: arte y Naturaleza». *Revista de Obras Públicas*, 1973, núm. 3098, pp. 467-476
- Castro Cardús, Santiago de. «Valor artístico de las presas». *Revista de Obras Públicas*, 1970, núm. 3061, pp. 579-588
- Catalan Aguilà, Joan (cord; et al.). *L'Obra hidràulica en els Pirineus. Avaluació, correcció i prevenció de l'impacte mediambiental: el Parc Nacional d'Aigüestortes i Estany de Sant Maurici*. Barcelona: Enher, 1997
- Cebrián Herreros, Mariano. *Cine documental e informativo en la empresa. 50 años de producción de Fernando López Heptener en Iberduero y No-Do*. Madrid: Editorial Síntesis, 1994
- Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo (ed.). *Betancourt: los inicios de la ingeniería moderna en Europa*. Catálogo de exposición. Madrid: Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente; Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1996
- Clanet, Céline. *Du Torrent au Courant: des Barrages et des Hommes en Savoie*. Textos de Hervé Gaymard, Thierry Salomon, Pierre Blancher. Arles: Actes Sud, 2011
- Chávarri Pérez, Susana. *La construcción de los saltos del Sil, 1945-1965*. Ourense: Diputación Provincial de Ourense, Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2010
- Decam, Édouard; Saulé-Sorbé, Hélène. *Pyrénées: ouvrages d'eau*. Pau: Editions du Pin à Crochets, 2012

- Díez-Cascón Sagrado, Joaquín; Bueno Hernández, Francisco. *Las presas y embalses en España: historia de una necesidad. I. Hasta 1900*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, 2003
- Díez-Cascón Sagrado, Joaquín; Bueno Hernández, Francisco. "Las presas de fábrica a lo largo del siglo XX". En: *Actas I Congreso Nacional de Historia de las Presas*. Mérida, 8 a 11 de noviembre de 2000. Mérida: Diputación de Badajoz, Sociedad Española de Presas y Embalses, 2002
- Díez-Cascón Sagrado, Joaquín; Bueno Hernández, Francisco. *Ingeniería de presas: presas de fábrica*. 2 vols. Santander: Servicio de publicaciones Universidad de Cantabria, 2001
- Drexler, Arthur. *Twentieth century engineering*. Catálogo de exposición. New York: The Museum of Modern Art, 1969
- Fernández Casado, Carlos. *Ingeniería hidráulica romana*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos; Turner, 1983
- Fernández Casado, Carlos. *La arquitectura del ingeniero*. Madrid: Ediciones Alfaguara, 1975
- Fernández Casado, Carlos. "La expresión geográfica de las obras de ingeniería". 3ª parte. *Estudios Geográficos*, 1950, núm. 39, pp. 187-200
- Fernández Ordóñez, David. "Las presas históricas de embalse y derivación en España". *Ingeniería y territorio*, 1997, núm. 40, pp. 82-91
- Fernández Ordóñez, José Antonio. *Pensar la ingeniería: antología de textos de José Antonio Fernández Ordóñez*. Edición a cargo de José Ramón Navarro Vera. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, 2009
- Fernández Ordóñez, José Antonio (ed.). *Catálogo de noventa Presas y Azudes Españoles anteriores a 1900*. Madrid: Comisión de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo, 1984
- García Braña, Celestino. "Industria y arquitectura moderna en España, 1925-1965". En: *La arquitectura de la industria, 1925-1965: registro Docomomo Ibérico*. Edición a cargo de Ana Tostões, Celestino García-Braña y Susana Landrove. Barcelona: Fundación Docomomo Ibérico, 2005
- García Roselló, Julián. "La construcción de obras hidroeléctricas subterráneas en España". *Revista de Obras Públicas*, 1964, núm. 2988, pp. 373-416
- Gil Olcina, Antonio (ed.). *La cultura del agua en la cuenca del Segura*. Catálogo de exposición en el Museo Hidráulico Los Molinos del Río Segura, Museo de la Ciencia y el Agua, Murcia, octubre a diciembre 2004. Murcia: Fundación Cajamurcia, 2004
- Gómez Navarro, José Luís. "Presas vertedero con central interna". *Revista de Obras Públicas*, 1940, núm. 2703, pp. 109-116
- Gómez Navarro, José Luis; Juan-Aracil Segura, José. *Salto de agua y presas de embalse*. 2 vols. Madrid: Revista de Obras Públicas, 1932
- González de Vallejo, Luis I [et al.]. *Ingeniería Geológica*. Madrid: Prentice Hall, 2002
- Gruner, Henri Edward. "La presa de Montejaque y la construcción moderna de presas". *Revista de Obras Públicas*, 1927, núm. 2474, pp. 125-135
- García Bellido, Javier (et al.). *Historia y evolución de la colonización agraria en España*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, (et al.), 1988
- Ingeniería y Territorio*, 2008, núm. 84, pp. 96-103. "Diálogo sobre la forma".
- Ivancic, Aleksandar. *Energyscapes*. Barcelona: Gustavo Gili, 2010
- Jaén Urban, Gaspar. *D'aigua i obres hidràuliques a Elx*. Alacant: Universitat d'Alacant, 2009
- Jaio, Miren. *Ibon Aranberri: organigrama*. Programa de mano de exposición en la Fundació Antoni Tàpies, Barcelona, 28 de enero a 15 de mayo de 2011. Barcelona: Fundació Antoni Tàpies, 2011
- Judd, Donald. "Twentieth-Century Engineering". Judd, Donald. *Complete writings 1959-1975*. New York: New York University Press, 1975
- Kreuzer, Harald. "Thoughts on the Aesthetics of Dams". *The International Journal of Hydropower & Dams*, 1994, pp. 1-10
- Laprade, Albert. "Arquitectura industrial." *Revista Nacional de Arquitectura*, 1951, núm. 110-111. pp. 9-15

- López Gómez, Antonio. *Els embassaments valencians antics*. València: Generalitat Valenciana, Conselleria d'Obres Públiques i Transports, 1987
- Martí Arís, Carlos. *La cimbra y el arco*. Barcelona: Fundación Caja de Arquitectos, 2005
- Ministerio de Medio Ambiente (ed.). *Inventario de presas españolas 2006*. Madrid: Dirección General del Agua, Ministerio de Medio Ambiente, 2006
- Ministerio de Medio Ambiente (ed.). *Libro blanco del agua en España*. Madrid: Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, Secretaría de Estado de Aguas y Costas, Ministerio de Medio Ambiente, 2000
- Ministerio de Medio Ambiente (ed.). *Embalses y medio ambiente*. Madrid: Dirección General de Obras Hidráulicas y Calidad de las Aguas, Secretaría de Estado de Aguas y Costas, Ministerio de Medio Ambiente, 1996
- Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente (ed.). *Selección de presas españolas 1973-1993*. Madrid: Comité Nacional Español de Grandes Presas; Ministerio de Obras Públicas, Transportes y Medio Ambiente, 1994
- Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (ed.). *Inventario de presas españolas 1986*. Madrid: Dirección General de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo, 1988
- Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (ed.). *La obra pública patrimonio cultural*. Catálogo de exposición, Museo Arqueológico Nacional, Madrid, 12 de mayo - 8 de junio de 1986. Madrid: Comisión de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo, 1986
- Ministerio de Obras Públicas y Urbanismo (ed.). *Planos históricos de obras hidráulicas*. Madrid: Comisión de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo, 1985
- Ministerio de Obras Públicas (ed.). *Un testimonio de las presas españolas*. Madrid: Comité Nacional Español de Grandes Presas; Dirección General de Obras Hidráulicas, Ministerio de Obras Públicas, 1973
- Mumford, Lewis. *Técnica y civilización*. Traducción del título *Thechnics and Civilization*. Madrid: Alianza Editorial, 2006
- Navascués Palacio, Pedro (cord.). *Ars mechanicae: ingeniería medieval en España*. Catálogo de exposición. Madrid: Ministerio de Fomento, Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Fundación Juanelo Turriano, 2008
- Petroski, Henry. *La ingeniería es humana: la importancia del fallo en el éxito del diseño*. Traducción del título *To engineer is human: the rol of failure in successful design*. Madrid: Cinter, 2007
- Rubín de Célix Caballero, Moisés. "Síntesis de la puesta en servicio y de la construcción de presas en España en el período 1994-1996". *Revista de Obras Públicas*, 1997, núm. 3371, pp. 11-42
- Sáenz García, Clemente. "Determinantes geológicas de las grandes presas españolas". *Revista de Obras Públicas*, 1961, núm. 2954, pp. 340-346
- Sáenz Ridruejo, Clemente; Sáenz Sanz, Clemente. "La geología española y las presas: peculiaridades e invariantes morfológicas". *Revista de Obras Públicas*, 2006, núm. 3465, pp. 9-14
- Sáenz Ridruejo, Clemente (et al.). "Ámbito geológico de la presa". *Grandes Presas. Experiencias españolas en su proyecto y construcción*. Madrid: Comité Español de Grandes Presas, 1976
- Sáenz Ridruejo, Fernando. "El papel de los Ingenieros Hidráulicos españoles". *Revista de Obras Públicas*, 2008, núm. 3488, pp. 67-74
- Sáenz Ridruejo, Fernando. *Los ingenieros de caminos*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1993
- Schnitter, Nicholas J. *Historia de las presas: las pirámides útiles*. Traducción del título *A history of dams: the useful pyramids*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos Canales y Puertos, 2000
- Smith, Norman A.F. *The Heritage of Spanish Dams*. Reedición del título original editado por el Comité Nacional Español de Grandes Presas, 1970. Madrid: Colegio de Ingenieros, Caminos, Canales y Puertos, 1992

- Smith, Norman A.F. *A History of Dams*. London: Peter Davies, 1971
- Smithson, Robert. *Selección de escritos*. Méjico: Alias, 2011
- Suárez Caballero, Federico. *Federico Cantero Villamil: crónica de una voluntad; el hombre, el inventor*. Madrid: Arts & Press, 2006
- Temes y González de Riancho, Vicente. "La arquitectura en los aprovechamientos hidroeléctricos". *Revista Nacional de Arquitectura*, 1954, núm. 147, pp. 1-46
- Torán Peláez, José. *Álbum de las aguas: río Ebro*. Edición a cargo de Rafael Heras. Madrid: Colegio de Caminos, Canales y Puertos, 2003
- Torán Peláez, José; Herreras Espino, José Alberto. "Las grandes presas en el desarrollo de los recursos hidráulicos: la experiencia española". *Revista de Obras Públicas*, 1977, núm. 3144, pp. 259-266
- Torán Peláez, José. "Rafael Benjumea Burín, conde de Guadalhorce". *Revista de Obras Públicas*, 1976, núm. 3138, pp. 830-832
- Torán Peláez, José. "Las grandes presas en España: síntesis 1967". *Revista de Obras Públicas*, 1967, núm. 3028, pp. XI-XLII
- Torán Peláez, José. "Las grandes presas en España: síntesis 1964". *Revista de Obras Públicas*, 1964, núm. 2988, pp. IX-XVI
- Valero Bermejo, Gregorio. "Centrales subterráneas españolas". *Revista de Obras Públicas*, 1961, núm. 2954, pp. 402-406
- Vallarino Cánovas del Castillo, Eugenio. *Tratado básico de presas*. 2ª edición. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1994
- Vallarino Cánovas del Castillo, Eugenio. "Pasado, presente y previsible futuro de las presas en España". *Ingeniería y territorio*, 1989, núm. 13, pp. 38-49
- Vaniscotte, Yari; Clerget, Yves (cord.). *L'Art de l'ingénieur: constructeur, entrepreneur, inventeur*. Catálogo de exposición en el Centre Georges Pompidou. Paris: Centre Georges Pompidou, 1997
- Vázquez de la Cueva, Ana. *La ingeniería civil en la Pintura*. Catálogo de exposición en la Real Academia de Bellas Artes de San Fernando del 26 de febrero al 25 de abril de 2004. Madrid: Ministerio de Fomento, Cedex, 2004
- Villanueva Larraya, Gregoria. *Hidráulica Santillana. Cien años de historia*. Madrid: Guillermo Blázquez, 1995
- Wegmann, Edward. *The design and construction of dams*. 5ª edición. New York: John Wiley and Sons, 1908
- Yordi de Carricarte, Luciano. "Filosofía del emplazamiento de las presas de embalse". *Revista de Obras Públicas*, 1973, núm. 3098, pp. 581-592
- Yordi de Carricarte, Luciano. "Evolución de los perfiles de las presas en arco y ajuste de la bóveda a la cerrada". *Revista de Obras Públicas*, 1961, núm. 2954, pp. 371-382

TODO EN UNO

GAITANEJO

- Alarcón de Porras, Francisca. *Historia de la electricidad en Málaga*. Málaga: Sarriá, 2000
- Bernal, Antonio-Miguel. "Etapa fundacional y proceso integrador de las compañías matrices del sur peninsular (1894-1968)". En: Alcaide, Julio [et al.]. *Compañía Sevillana de Electricidad: cien años de historia*. Sevilla: Fundación Sevillana de Electricidad, 1994
- Bestué Cardiel, Isabel; Pérez Marrero, Jenny. *Caminito del Rey: un recorrido con historia*. Málaga: Diputación de Málaga, 2015
- Brotons Pazos, Juan; García Villar, Cristóbal. *El embalse del Chorro: un hito en la política hidráulica en el umbral del siglo XX*. Málaga: Confederación Hidrográfica del Sur, 1999
- Brioso Raggio, Tomás. *El pantano del Chorro: los aprovechamientos hidráulicos de la cuenca del Guadalhorce*. Málaga, 1938
- Dorao Díez-Montero, Julián. "Un pantano en el Guadalhorce". 3 vols. *Revista de Obras Públicas*, 1951, núm. 2838, pp. 463-470; 1952, núm. 2842, pp. 62-68; núm. 2841, pp. 7-15

Fuertes Pérez, Pere. *Le Corbusier desde el palacio del Gobernador: un análisis de la arquitectura del Capitolio de Chandigarh*. Tesis doctoral, Universitat Politècnica de Catalunya, 2006

Gómez Navarro, José Luís. "Presas vertedero con central interna". *Revista de Obras Públicas*, 1940, núm. 2703, pp. 109-116

Juan-Aracil Segura, José. "Recrecimiento original de una presa". *Revista de Obras Públicas*, 1949, núm. 2813, pp. 443-446

Le Corbusier. *Le Corbusier: oeuvre complète*. 8 vols. 15ª ed. Zurich: Éditions d'Architecture, 2006

Martín Gaite, Carmen. *El Conde de Guadalhorce, su época y su labor*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1977

Martín Pérez, María Isabel; Fernández-Palacios Carmona, José María; Sancho Royo, Fernando. *Álbum 100 grandes presas en Andalucía: la obra en el paisaje*. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio; Universidad de Sevilla, 2013

Revista de Obras Públicas, 1944, núm. 2745, pp. 1-4. "El caso de la presa de Gaitanejo"

CORTIJOS Y RASCACIELOS

ALCALÁ DEL RÍO, JÁNDULA

Barrionuevo Ferrer, Antonio. "La Central hidroeléctrica del embalse del Jándula y Casto Fernández-Shaw". *Guadalquivir. Revista de la Compañía Sevillana de Electricidad*, 1987, núm. 6, pp. 22-23

Bernal, Antonio-Miguel. "Etapas fundacional y proceso integrador de las compañías matrices del sur peninsular (1894-1968)". En: Alcaide, Julio [et al.]. *Compañía Sevillana de Electricidad: cien años de historia*. Sevilla: Fundación Sevillana de Electricidad, 1994

Cabrero Garrido, Félix. *Casto Fernández-Shaw*. Madrid: Colegio Oficial de Arquitectos de Madrid, 1980

Carbajal Ballell, Nicolás. *El Salto del Jándula: Andújar, 1927*. Almería: Colegio Oficial de Arquitectos de Almería, 2014

Galnares del Coso, Víctor Manuel; García Redondo, Nuria; Gutiérrez Abad, Ángel. "Presa de Jándula y la canalización del Guadalquivir". *Revista de Obras Públicas*, 1996, núm. 3356, pp. 81-90

García Pérez, María Cristina; Cabrero Garrido, Félix (ed.). *Casto Fernández-Shaw: arquitecto sin fronteras: 1896-1978*. Catálogo de exposición. Madrid: Ministerio de Fomento, Junta de Andalucía, Electa, 1999

Gómez Navarro, José Luís. "Presas vertedero con central interna". *Revista de Obras Públicas*, 1940, núm. 2703, pp. 109-116

González Martínez, Plácido; Santofimia Albiñana, Marta. "Sueños eléctricos y elefantes de vapor: el patrimonio onírico de la modernidad en la producción hidroeléctrica de Andalucía". En: *La fábrica, paradigma de la modernidad: VII Congreso Docomomo Ibérico*. Oviedo, 14-17 de abril de 2010. Barcelona: Docomomo Ibérico, 2012

Martín Pérez, María Isabel; Fernández-Palacios Carmona, José María; Sancho Royo, Fernando. *Álbum 100 grandes presas en Andalucía: la obra en el paisaje*. Sevilla: Junta de Andalucía, Consejería de Medio Ambiente y Ordenación del Territorio; Universidad de Sevilla, 2013

Martínez Roig, Josep Maria. *Instalación de la Confluencia: construcción de la presa de Camarasa*. Barcelona: Fecsa, 1995

Mendoza Sáez de Argandoña, Carlos. "Instalaciones auxiliares llevadas a cabo para la construcción de la presa del Jándula". *Revista de Obras Públicas*, 1928, núm. 2504, pp. 233-236

Mendoza Sáez de Argandoña, Carlos. "Idea general del proyecto de canalización y fuerzas del Guadalquivir". 2 vols. *Revista de Obras Públicas*, 1926, núm. 2464, pp. 461-465; núm. 2465, pp. 481-484

Mendoza Sáez de Argandoña, Carlos. "Salto de El Carpio en el Guadalquivir". *Revista de Obras Públicas*, 1923, núm. 2383, pp. 54-58

Mendoza Sáez de Argandoña, Carlos. *Canalización y aprovechamiento de energía del río Guadalquivir*. Madrid: Imprenta de Blass y Cía, 1920

Revista de Obras Públicas, 1933, núm. 2618, p. 170.
“Grandes presas europeas”

Revista de Obras Públicas, 1919, núm. 2274, pp. 196-201. “Canalización del Guadalquivir”

Sobrino Simal, Julián. “Casto Fernández-Shaw: ¡un arquitecto que proyecta presas!”. En: García Pérez, María Cristina; Cabrero Garrido, Félix (ed.). *Casto Fernández-Shaw: arquitecto sin fronteras: 1896-1978*. Catálogo de exposición. Madrid: Ministerio de Fomento, Junta de Andalucía, Electa, 1999

Filmografía

Obras del pantano Jándula. Documental, 35mm, bn, 50'. Compañía de Canalización y Fuerzas del Guadalquivir, 1928-1930. Fundación Endesa, Filmoteca de Andalucía, 2013

CONTRAFUERTES

ESTANQUE DE GUADALUPE, PRESA DE CONTRAFUERTES DE 90 METROS DE ALTURA, ALCÁNTARA II

Azarola Gresillón, Emilio. “Presa de hormigón armado reticulada”. *Revista de Obras Públicas*, 1928, núm. 2492, pp. 4-6

Becerril Antón-Miralles, Enrique. “Aspectos técnicos de la experimentación hidrodinámica en escala reducida”. *Revista de Obras Públicas*, 1953, núm. 2857, pp. 139-149

Callejo, Carlos. *El monasterio de Guadalupe*. Madrid: Plus-Ultra, 1958

Cantero Villamil, Federico. “Presa de contrafuertes en Burgomillodo”. *Revista de Obras Públicas*, 1931, núm. 2579, pp. 325-329

Castillo Rubio, Manuel; Navalón García, Nicolás. “Presa de Alcántara”. *Revista de Obras Públicas*, 1967, núm. 3028, pp. 871-888

Díaz de Aguilar Cantero, Isabel; Suárez Caballero, Federico. “Federico Cantero Villamil: entre la desmemoria y el revisionismo”. *Ingeniería y territorio*, 2007, núm. 79, pp. 64-73

Díaz-Marta Pinilla, Manuel. “El patrimonio cultural de la ingeniería española en América”. *Ingeniería y territorio*, 1997, núm. 41, pp. 12-29

Díaz-Marta Pinilla, Manuel; Fernández-Ordóñez, David. “La presa del Estanque y el abastecimiento a Guadalupe”. *Revista de Obras Públicas*, 1994, núm. 3330, pp. 77-92

Diz Bercedóniz, Manuel. “Pantano de Santa Clara de Ula, en el río Tirso (Cerdeña)”. 2 vols. *Revista de Obras Públicas*, 1925, núm. 2432, pp. 311-312; 2433, pp. 321-327

García-Diego, José Antonio. *Presas antiguas de Extremadura*. Madrid: Fundación Juanelo Turriano, 1994

García-Diego, José Antonio. “Don Pedro Bernardo Villarreal de Bériz y sus presas de contrafuertes”. *Revista de Obras Públicas*, 1971, núm. 3076, pp. 599-616

Gómez Navarro, José Luis. “Presas de gravedad y presas de bóvedas múltiples”. 3 vols. *Revista de Obras Públicas*, 1926, núm. 2451, pp. 205-209; núm. 2452, pp. 236-240; núm. 2454, pp. 285-289

Hidroeléctrica Española (ed.). HE, 75 Aniversario: 1907-1982. Hidroeléctrica Española: Madrid, 1987

Informes de la construcción, 1955, núm. 73. “Aprovechamiento hidroeléctrico de Chandreja”

Jiménez Aparicio, Benito. “El canal y la presa de Estremera”. *Revista de Obras Públicas*, 1949, núm. 2812, pp. 357-369

Juan-Aracil Segura, José; Ríos García, Ramón. “Presa de bóvedas múltiples”. 2 vols. *Revista de Obras Públicas*, 1933, núm. 2635, pp. 534-539; 1934, núm. 2643, pp. 150-157

Juan-Aracil Segura. “Aumento de la estabilidad de las presas por una distribución racional de los materiales”. *Revista de Obras Públicas*, 1932, núm. 2600, pp. 323-325

Juncà Ubierna, José Antonio. *Memoria histórico-artística: presa del Estanque: Guadalupe, Cáceres*. Madrid: Fundación Juanelo Turriano, 1996

- Lozano Bartolozzi, María del Mar. "El paisaje hídrico en torno al Tajo y los artistas contemporáneos". En: Lozano Bartolozzi, María del Mar; Méndez Hernán, Vicente (ed.). *Paisajes modelados por el agua: entre el arte y la ingeniería*. Mérida: Editora Regional de Extremadura, 2012, pp. 423-443
- Martín Alonso, José. "Presa de contrafuertes". 4 vols. *Revista de Obras Públicas*, 1933, núm. 2625, pp. 313-318; núm. 2626, pp. 335-343; núm. 2627, pp. 357-363; núm. 2628, pp. 371-375
- Peña Boeuf, Alfonso. "Nueva estructura de presa para grandes valles". *Revista de Obras Públicas*, 1932, núm. 2594, pp. 149-153
- Peña Boeuf, Alfonso. "Las presas-bóvedas: solución racional del problema". *Revista de Obras Públicas*, 1927, núm. 2476, pp. 173-176
- Peña Boeuf, Alfonso. "Proyecto de presa de contrafuertes de 90 metros de altura". *Revista de Obras Públicas*, 1917, núm. 2177, pp. 282-285
- Salcedo Hernández, José-Carlos. *Urbanismo y Arquitectura de la Puebla de Guadalupe*. Tesis doctoral, Universidad de Extremadura, 2011
- Teixidó Domínguez, María Jesús. "El poblado del embalse de Alcántara: un ejemplo de urbanismo en el período de la Autarquía". En: Lozano Bartolozzi, María del Mar; Méndez Hernán, Vicente (ed.). *Paisajes modelados por el agua: entre el arte y la ingeniería*. Mérida: Editora Regional de Extremadura, 2012, pp. 235-245
- Turriano, Juanelo. *Los Veintiún libros de los ingenios y de las máquinas de Juanelo Turriano*. Transcripción del manuscrito con prólogo de Pedro Laín Entralgo y reflexiones de José Antonio García-Diego. 8 vols. Madrid: Fundación Juanelo Turriano; Doce Calles, 1996
- Villarreal de Bériz, Pedro Bernardo. *Máquinas hidráulicas de molinos y herrerías y gobierno de los árboles y montes de Vizcaya*. Madrid: Oficina de Antonio Marín, 1736
- Yagüe Córdova, Jesús. "La seguridad de presas en España". En: Berga Casafont, Luis (ed.). *Las presas en España*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2008, pp. 77-86
- Yordi de Carricarte, Luciano. "La presa y el aprovechamiento hidroeléctrico del río Salas". *Revista de Obras Públicas*, 1972, núm. 3087, pp. 549-558
- Yordi de Carricarte, Luciano. "La presa de bóvedas múltiples de Meicende". *Revista de Obras Públicas*, 1962, núm. 2967, pp. 445-454
- Zabala Mendiá, Manuel; Fernández Casado, José Luis. "Presas de contrafuertes". 3 vols. *Revista de Obras Públicas*, 1945, núm. 2761, pp. 195-201; núm. 2763, pp. 305-311; núm. 2764, pp. 365-368
- Zafra Esteban, Juan Manuel de. "El hormigón armado y los grandes embalses". 4 vols. *Revista de Obras Públicas*, 1912, núm. 1902, pp. 109-117; núm. 1903, pp. 130-135; núm. 1904, pp. 141-146; núm. 1905, pp. 149-162

MUNDO INTERIOR

SALIME

- Amann, Atxu; Cánovas, Andrés (ed.). *Vaquero Palacios: medalla de oro de la arquitectura 1996*. Madrid: Consejo Superior de los Colegios de Arquitectos de España, 1998
- Arquitectura*, 1962, núm. 47, pp. 23-26. "Saltos de Arenas de Cabrales y Silvón"
- Cuadernos de Arquitectura*, 1960, núm. 41, pp. 29-31. "Salto de Silvón y Salto de Arenas de Electra de Viesgo, S.A. en Asturias"
- Debertolis, Paolo; Bisconti, Niccolò. "Archaeoacoustics analysis and ceremonial customs in an ancient hypogeum". *Sociology Study*, 2013, núm. 10, pp. 803-814
- Engaña Casariego, Francisco. "Joaquín Vaquero Palacios en Nueva York". *Archivo Español de Arte*, 2013, núm. 343, pp. 237-262
- García-Pola Vallejo, Miguel Ángel. "Astúries: l'èpica del desenvolupament". *Quaderns d'Arquitectura i Urbanisme*, 1998, núm. 215, pp. 92-121
- Informes de la Construcción*, 1957, núm. 88, p. 531-22. "Aprovechamiento hidroeléctrico del río Navia"

Lorenzo Pérez, Luis. *Guía descriptiva de las obras del Salto de Salime*. Luarca: Imprenta Heredera de Ramiro P. del Río, 1954. Edición facsímil, Oviedo: Saltos del Navia, 2003

Madrazo Feliu, Baldomero. *Electra de Viesgo: 75 años*. Santander: Electra de Viesgo, 1981

Medio, Dolores; Pando, Juan. “Vértigo y audacia de la Ingeniería española: el Salto de Salime”. *Obras. Revista de construcción*, 1953, núm. 80

Pérez Lastra, José Antonio. *Vaquero Palacios, arquitecto*. Oviedo: Colegio Oficial de Arquitectos de Asturias, 1992

Revista Nacional de Arquitectura, 1956, núm. 169, pp. 16-20. “Mural en la presa de Salime”

Tielve García, Natalia. “Arte, diseño y arquitectura industrial en la labor de Joaquín Vaquero Palacios (1900-1998)”. *Norba, Revista de Arte*, 2011, vol. XXXI, pp. 111-131

Tielve García, Natalia. *El salto de Grandas de Salime: arte e industria*. Gijón: CICEES, 2007

Tielve García, Natalia. “Los poblados del agua: Eritaña, La Paincega, Vistalegre y El Campín: cuatro núcleos construidos al amparo de Grandas de Salime”. En: Álvarez Arecas, Miguel Ángel (ed.). *Arquitecturas, ingenierías y culturas del agua*. Gijón: CICEES, 2007

Vaquero Palacios, Joaquín; Fernández Fernández, José Carlos; Toribio, Alfonso. *Arquitectura-Arte-Ingeniería: la obra integradora de Joaquín Vaquero en Asturias*. Oviedo: Delegación de Asturias del Colegio Oficial de Arquitectos de León y Asturias, 1980

Vázquez, Víctor Manuel; Vaquero Turcios, Joaquín. *Salime: arte y Vida*. Oviedo: Fundación HidroCantábrico, 2004

Vega y de la Vega, Rafael de la; Galán Elgart, Manuel. “Algunas consideraciones acerca de la construcción de presas”. *Revista de Obras Públicas*, 1961, núm. 2954, pp. 317-339

Filmografía

Rivero, Jorge. *La presa*. Cortometraje documental, 16’. Emilio Pérez; Jorge Rivero; Pablo Domínguez; Aprieta Fuerte, 2009

PACTAR CON LA CERRADA

ALDEADÁVILA

Bueno Hernández, Francisco; Saldaña Arce, Diego. “Evolución de la ingeniería de presas en España: el caso de los Saltos del Duero”. En: *Actas I Congreso Nacional de Historia de las Presas*. Mérida, 8 a 11 de noviembre de 2000. Mérida: Diputación de Badajoz; Sociedad Española de Presas y Embalses, 2002

Cannatà, Michele; Fernandes, Fátima. *Moderno Escondido: arquitectura das centrais hidroeléctricas do Douro, 1953-1964: Picote, Miranda, Bemposta*. Porto: Faculdade de Arquitectura da Universidade do Porto, 1997

Chapa Imaz, Álvaro. *La construcción de los saltos del Duero, 1903-1970: historia de una epopeya colectiva*. Pamplona: Ediciones Universidad de Navarra, 1999

Chapa Imaz, Álvaro. *Ecós de un pasado*. 4 vols. Bilbao: Iberdrola, 1996

Cobos Guerra, Fernando; Campos, João. *Almeida, Ciudad Rodrigo: la fortificación de la Raya Central*. Ciudad Rodrigo: Consorcio Transfronterizo de Ciudades Amuralladas, 2013

Díaz de Aguilar Cantero, Isabel; Suárez Caballero, Federico. “Federico Cantero Villamil: entre la desmemoria y el revisionismo”. *Ingeniería y territorio*, 2007, núm. 79, pp. 64-73

Díaz Morlán, Pablo. “La escuela del Duero”. En: Iberdrola (ed.). *Luces del Duero 1900-1970: aprovechamientos hidroeléctricos de la cuenca hidrográfica del río Duero*. Catálogo de exposición. Bilbao: Fundación Iberdrola, 2009, pp. 9-18

Díaz Morlán, Pablo. “El proceso de creación de los Saltos del Duero”. *Revista de historia industrial*, 1998, núm. 13, pp. 181-200

Electricidade de Portugal (ed.). *Aproveitamento hidráulico do Douro*. Lisboa: Electricidade de Portugal, 1986

García Roselló, Julián. “La construcción de obras hidroeléctricas subterráneas en España”. *Revista de Obras Públicas*, 1964, núm. 2988, pp. 373-416

Iberdrola (ed.). *Sistema Duero*. Iberdrola: Zamora, 1996

- Iberduero (ed.). *Aldeadávila*. Bilbao: Iberduero, 1987
- Iberduero (ed.). *Los grandes sistemas hidroeléctricos*. Bilbao: Iberduero, 1984
- Iberduero (ed.). *Iberduero 1944-1969*. Bilbao: Iberduero, 1970
- Info: revista informativa da Ordem dos Engenheiros *Região Norte*, 2007, núm. 12, pp. 6-25. "Picote: 50 anos"
- Informes de la Construcción*, 1966, núm. 180, pp. 36-52. "Salto de Aldeadávila"
- Martínez Artola, Pedro. "El salto de Aldeadávila". 2 vols. *Revista de Obras Públicas*, 1962, núm. 2972, pp. 793-803; 1963, núm. 2973, pp. 13-22
- Muñoz Corbalán, Juan Miguel. *Jorge Próspero Verboom. Ingeniero militar flamenco de la monarquía hispánica*. Madrid: Fundación Juanelo Turriano, 2015
- Muñoz Corbalán, Juan Miguel. "La profesión del ingeniero en la Ilustración". En: Cámara Muñoz, Alicia; Revuelta Pol, Bernardo (ed.). *Ingeniería de la Ilustración*. Madrid: Fundación Juanelo Turriano, 2015
- Muriel Hernández, Manuel; Chapa Imaz, Álvaro. *Cien años de historia de Iberdrola*. Vol 1: *Los hombres*. Vol. 2: *Los hechos*. Bilbao: Iberdrola, 2002
- Olaguibel Llovera, Luis. "La construcción de la presa de Aldeadávila". *Revista de Obras Públicas*, 1964, núm. 2988, pp. 573-581
- Orbegozo Gorostegui, José. "Los Saltos del Duero". 3 vols. *Revista de Obras Públicas*, 1925, núm. 2443, pp. 569-571; 1926, núm. 2445, pp. 37-38; núm. 2446, pp. 65-70
- Portuguese National Committee on Large Dams (ed.). *Large Dams in Portugal*. Lisboa: Portuguese National Committee on Large Dams, 1992
- Rodríguez Marquina, Francisco Javier. "Crecidas extraordinarias del río Duero". 2 vols. *Revista de Obras Públicas*, 1949, núm. 2809, pp. 202-213; núm. 2812, pp. 370-377
- Unamuno, Miguel de. "Los Arribes del Duero". *Hojas Selectas*, 1905, núm. 37, pp. 19-37

Filmografía

- López Heptener, Fernando. *La presa de Aldeadávila*. Documental, 35mm, color, 32'. Iberdrola, 1963

MODELAR EL PAISAJE

CANELLES, RICOBAYO

- Águila Rada, Antonio. "Algunas consideraciones sobre el régimen hidráulico al pie de presas y su aplicación a los ensayos del vertedero del Esla". 2 vols. *Revista de Obras Públicas*, 1933, núm. 2627, pp. 349-357; núm. 2629, pp. 397-403
- Alonso Pérez de Ágreda, Eduardo. "La auscultación de obras y el progreso técnico". En: *De la construcción a la ciencia: ayer y hoy de Eduardo Torroja*. Madrid: Academia de Ingeniería, 2000, pp. 87-114
- Arredondo Verdú, Francisco [et al.]. *La obra de Eduardo Torroja*. Madrid: Instituto de España, 1977
- Chapa Imaz, Álvaro. *La construcción de los saltos del Duero, 1903-1970: historia de una epopeya colectiva*. Pamplona: Ediciones Universidad de Navarra, 1999
- Chapa Imaz, Álvaro. *Ecos de un pasado*. 4 vols. Bilbao: Iberdrola, 1996
- Decam, Édouard. *Landscape Scale. L'échelle du paysage. L'escala del paisatge*. Programa de mano de exposición, Institut Français de Barcelona, 13-31 de julio de 2012. Barcelona: Institut Français, 2012
- Decam, Édouard. "La escala del paisaje". *Metalocus*, 2008, núm. 22, pp.
- Díaz Rull, Joan. *La visió en xarxa de Victoriano Muñoz Oms*. Tesis doctoral. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2003
- Echanove Casas, Manuel. "El túnel del Esla". *Revista de Obras Públicas*, 1942, núm. 2722, pp. 67-74
- Enher (ed.). *Salto de Canelles*. Documento cartográfico. Barcelona: Enher, 1991
- Enher (ed.). *Salto de Canelles*. Documento cartográfico. Barcelona: Enher, 1959

- Enher (ed.). *Aprovechamientos Hidroeléctricos de las cuencas del Ribagorzana y del bajo Ebro*. Barcelona: Enher
- Enher (ed.). *Características de los aprovechamientos hidroeléctricos de las cuencas del Ribagorzana y bajo Ebro*. Barcelona: Enher
- Enher (ed.). *Mapa de los aprovechamientos hidroeléctricos de la cuenca del Ribagorzana*. Barcelona: Enher
- Fernández Ordóñez, José Antonio; Navarro Vera, José Ramón. *Eduardo Torroja Miret: ingeniero: engineer*. Madrid: Pronaos, 1999
- Fernández Ortiz, Miguel Ángel. *La visió hidroelèctrica de Catalunya de l'enginyer D. Victoriano Muñoz Oms*. Tesis doctoral. Barcelona: Universitat Politècnica de Catalunya, 2002
- García Roselló, Julián. "La construcción de obras hidroeléctricas subterráneas en España". *Revista de Obras Públicas*, 1964, núm. 2988, pp. 373-416
- Iberdrola (ed.). *Luces del Duero 1900-1970: aprovechamientos hidroeléctricos de la cuenca hidrográfica del río Duero*. Catálogo de exposición. Bilbao: Fundación Iberdrola, 2009
- Iberduero (ed.). *Los grandes sistemas hidroeléctricos*. Bilbao: Iberduero, 1984
- Iberduero (ed.). *Iberduero 1944-1969*. Bilbao: Iberduero, 1970
- Informes de la construcción*, 1962, núm. 157, p. 531-57. "Presa de Canelles"
- Martínez Artola, Pedro. "Saltos del Duero. Aprovechamiento de aguas del río Esla". *Revista de Obras Públicas*, 1929, núm. 2537, pp. 421-423
- Martínez Artola, Pedro. "El túnel aliviadero del Salto del Esla". *Revista de Obras Públicas*, 1941, núm. 2718, pp. 401-406
- Martínez Roig, Josep Maria. *Instalación de la Confluencia: construcción de la presa de Camarasa*. Barcelona: Fecsa, 1995
- Millet Maristany, Gerardo; Álvarez Martínez, Alfonso. "Impermeabilización del macizo kárstico de Canelles". *Revista de Obras Públicas*, 1973, núm. 3098, pp. 423-436
- Muriel Hernández, Manuel; Chapa Imaz, Álvaro. *Cien años de historia de Iberdrola*. Vol 1: *Los hombres*. Vol. 2: *Los hechos*. Bilbao: Iberdrola, 2002
- Orbegozo Gorostegui, José. "Saltos del Duero: aprovechamiento de aguas del río Esla". 6 vols. *Revista de Obras Públicas*, 1930, núm. 2553, pp. 340-342; núm. 2554, pp. 357-362; núm. 2555, pp. 379-384; núm. 2556, pp. 397-402; núm. 2557, pp. 417-424; núm. 2558, pp. 437-441
- Riesco Chueca, Pascual. "El embalse de Ricobayo y la visita en 1934 de Theodor Rehbock". Ponencia en el congreso 1929 - 2009. *80 años de historia del salto del Esla (Zamora)*. Muelas del Pan, 11-12 de diciembre de 2009
- Rubio Sacristán, Ricardo. "El túnel aliviadero del Salto del Esla". *Revista de Obras Públicas*, 1940, núm. 2705, pp. 157-161
- Sánchez del Corral del Río, Manuel. "Instalaciones y método para el estudio del comportamiento de la presa de Escales". 2 vols. *Revista de Obras Públicas*, 1955, núm. 2887, pp. 553-565; 1956, núm. 2889, pp. 21-31
- Sànchez Vilanova, Llorenç. *L'aventura hidroelèctrica de la Ribagorçana: ENHER i la seva influència en la transformació socio-econòmica de l'Alta Ribagorça*. La Pobla de Segur: Associació d'Amics de l'Alta Ribagorçana, 1991
- Sancho Reinoso, Alexis. "Aigua, paisatge i cartografia al Prepirineu: una interpretació en clau geohistòrica del Plano Parcelario del Embalse de Monrevey, de Riegos y Fuerzas del Ebro". *Revista Catalana de Geografia*, 2013, núm. 47
- Torroja Miret, Eduardo. *Las estructuras de Eduardo Torroja: vistas por Eduardo Torroja*. Reedición título original de 1958. Madrid: Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas, Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo, Ministerio de Fomento, 1999, pp. 110-112
- Yordi de Carricarte, Luciano. "Consideraciones sobre la doble curvatura de la presa del Eume". *Revista de Obras Públicas*, 1956, núm. 2889, pp. 16-20

Filmografía

López Heptener, Fernando. *Grandes obras mundiales*. Cortometraje, 11'. Saltos del Duero, 1932

REVOLUCIÓN DE LA FORMA

SUSQUEDA

Bach Vilarrasa, Dolors; Casas Genover, Josep. *Susqueda, Ahir, un poble*. Susqueda: Ajuntament de Susqueda, 1998

Boadas, Joan; Oliveras, Josep Maria; Sunyer, Xavier. *El Ter*. Girona: Diputació de Girona, Caixa d'Estalvis Provincial, 1987

Camins.cat: revista del Col·legi d'Enginyers de Camins, Canals i Ports de Catalunya, 2012, núm. 28, pp. 20-22. "Arturo Revollo, Medalla Ildefons Cerdà 2012"

Castillo Rubio, Manuel; Martínez Boudes, Diego. "La presa bóveda de Valdecañas". *Revista de Obras Públicas*, 1964, núm. 2988, pp. 315-334

Clarà Resplandís, Josep. *Història gràfica del tren d'Olot*. Girona, CCG Edicions, 2004

Dalmau, Jordi. "La cadena perpetua de Susqueda". *Presència*, 1 de julio de 1967, pp. 6-7

Hidroeléctrica de Cataluña (ed.). *Salto de Susqueda*. Barcelona: Hidroeléctrica de Cataluña, 1967

Hidroeléctrica de Cataluña (ed.). *Memorias anuales*. Barcelona: Hidroeléctrica de Cataluña

Palimpsesto, 2011, núm. 1, pp. 2-4. "Entrevista a Lluís Clotet: Premio Nacional de Arquitectura 2010"

Pavón Gamero, David. "El papel de los ríos Muga y Fluviá en la determinación del trasvase del Ter al área metropolitana de Barcelona". *Boletín de la Asociación de Geógrafos Españoles*, 2012, núm. 58, pp. 273-298

Rams, Emili. "Susqueda: el pantà de la discòrdia". *Presència*, 16 de enero de 1983, pp. 9-15

Rebollo Alonso, Arturo. *Ingeniería y arquitectura del hormigón: instantáneas sobre el salto de Susqueda*. Barcelona: Editores Técnicos Asociados, 1974

Rebollo Alonso, Arturo. *La presa bóveda de Susqueda: su proyecto, construcción y comportamiento*. Madrid: Instituto Eduardo Torroja de la Construcción y del Cemento, 1972

Rebollo Alonso, Arturo. "Una obra de ingeniería y arte". *Arte y Cemento*, 1971

Rebollo, Arturo. "El comportamiento inicial de la presa de Susqueda". 3 vols. *Revista de Obras Públicas*, 1970, núm. 3067, pp. 1071-1087; núm. 3068, pp. 1185-1198; 1971, núm. 3069, pp. 27-48

Rebollo Alonso, Arturo. "El tratamiento y la comprobación de la cimentación en la presa bóveda de Susqueda". *Revista de Obras Públicas*, 1969, núm. 3056, pp. 967-792

Rebollo Alonso, Arturo. "Dos torres de hormigón armado y una pasarela de hormigón pretensado". *Materiales, Maquinaria y Métodos para la Construcción*, 1969, núm. 59, pp. 109-114

Rebollo Alonso, Arturo. "Sala de hormigón armado en las Guillerías". *Informes de la Construcción*, 1969, núm. 214, pp. 93-99

Rebollo Alonso, Arturo. "Presa de Susqueda: el proyecto". *Revista de Obras Públicas*, 1967, núm. 3028, pp. 777-792

Viñolas, Eva; Pladevall, Antoni. *Susqueda*. Girona: Diputació de Girona, Obra Social "la Caixa", 2014

Filmografía

Construcción de la Presa de Susqueda, 1963-1968. 2'. Inhisa

APILAR

TOUS I Y II

Aguiló Alonso, Miguel. "Estética y paisaje de las presas españolas". En: Berga Casafont, Luis (ed.). *Las presas en España*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2008, pp. 377-392

- Álvarez Martínez, Alfonso; Peironcelly, José Manuel. "La experiencia española en el proyecto de las presas de materiales sueltos". *Revista de Obras Públicas*, 1970, núm. 3061, pp. 433-447
- Arenillas Parra, Miguel [et al.]. "Nuevos datos sobre la crecida del Júcar de octubre de 1982". *Revista de Obras Públicas*, 1993, núm. 3323, pp. 65-74
- Arteaga Serrano, Daniel; Malmcrona, Kennet. "Inversión en infraestructura hidráulica: presas". En: *VII Jornadas Españolas de Presas*. Zaragoza, 29-31 de mayo de 2002. Vol. 4. Zaragoza: Comité Nacional Español de Grandes Presas, 2002, pp. 55-65
- Berga Casafont, Luis. "Presas y avenidas". En: Berga Casafont, Luis (ed.). *Las presas en España*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2008, pp. 191-204
- Bravo Guillén, Guillermo. *La presa de Canales*. Madrid: Ministerio de Obras Públicas y Transportes, 1991
- Comité Nacional Español de Grandes Presas (ed.). *Rotura de presas. Análisis estadístico*. Madrid: Comité Nacional Español de Grandes Presas, 1996
- Delgado García, Joaquín; Girón Caro, Fernando; Delgado Ramos, Fernando. "Las presas del Guadiana Menor y el paisaje: ingeniería, naturaleza...y tiempo". En: *VII Jornadas Españolas de Presas*. Zaragoza, 29-31 de mayo de 2002. Vol. 4. Zaragoza: Comité Nacional Español de Grandes Presas, 2002, pp. 305-314
- Delgado García, Joaquín. "Presa de el Portillo Río Castril. Granada". *Revista de Obras Públicas*, 2001, núm. 3410, pp. 100-103
- Delgado García, Joaquín. "La presa de San Clemente: Granada". *Revista de Obras Públicas*, 1992, núm. 3316, pp. 108-109
- Delgado García, Joaquín. "La presa del Negratín: proyecto y construcción". *Revista de Obras Públicas*, 1982, núm. 3202, pp. 291-304
- Delgado Ramos, Fernando; Aguiló Alonso, Miguel. "Trasunto estético de lo suelto: presas de tierra y escollera". *Ingeniería y Territorio*, 2003, núm. 62, pp. 80-87
- Díez, Javier. "El fenómeno meteorológico de Santa Irene de 1982". *Revista de Obras Públicas*, 1992, núm. 3315, pp. 77-81
- Gómez Pérez, María Pilar. *Agua y Canal: reserva de vida*. Madrid: Canal de Isabel II Gestión, 2014
- Gómez Caffarena, César. "Comentarios al artículo *El proyecto y construcción de la presa de Tous* por Felipe Mendaña y Manuel Romana: publicado en la Revista de Obras Públicas de Junio de 1993". *Revista de Obras Públicas*, 1993, núm. 3325, pp. 77-78
- Jiménez Salas, José Antonio; Escario, Ventura. "Evolución de las presas de materiales sueltos en España". *Revista de Obras Públicas*, 1964, núm. 2988, pp. 441-458
- Lafuente Dios, Raimundo [et al.]. "El diseño del recrecimiento del embalse de Yesa". *Revista de Obras Públicas*, 2007, núm. 3475, pp. 129-148
- Mendaña Saavedra, Felipe; Romana Ruiz, Manuel. "El proyecto y construcción de la presa de Tous". *Revista de Obras Públicas*, 1993, núm. 3322, pp. 77-82
- Ministerio de Obras Públicas (ed.). *Presa de Guadalhorce-Guadaleba*. Madrid: Confederación Hidrográfica del Sur, Ministerio de Obras Públicas, 1974
- Olalla Marañón, Claudio; Cea Azañedo, Juan Carlos de. "Tecnología de presas españolas de materiales sueltos (1996-2006)". En: Berga Casafont, Luis (ed.). *Las presas en España*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2008, pp. 245-276
- Otamendi Machimbarrena, Miguel. "La instalación eléctrica del Marqués de Santillana". *Madrid científico: revista de ciencias, ingeniería y electricidad*, 1902, 2º trimestre
- Revista de Obras Públicas*, 1997, núm. 3363, pp. 86-89. "Presa de Tous: Río Júcar"
- Revista de Obras Públicas*, 2001, núm. 3410, pp. 100-103. "Presa de El Portillo: río Castril: Granada"
- Sendin Pérez Villamil, Mariano. "Presa de Portodemouros". *Revista de Obras Públicas*, 3028, núm. 1967, pp. 813-820

Témez Pélaez, José Ramón; Mateos Yguacel, Cristóbal. "Hidrogramas de entrada a Tous: datos para un juicio crítico". *Revista de Obras Públicas*, 1993, núm. 3319, pp. 67-79

Utrillas Serrano, José Luís. *La presa de Tous. Ingeniería, seguridad y desarrollo en la Ribera del Júcar*. Valencia: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, 2013

Yagüe Córdova, Jesús. "La seguridad de presas en España". En: Berga Casafont, Luis (ed.). *Las presas en España*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2008, pp. 77-86

SUPERPONER ESTRUCTURAS

PUENTES I, II, III Y IV

Aymard, Maurice. *Irrigations du Midi de l'Espagne: études sur les grands travaux hydrauliques et le régime administratif des arrosages de cette contrée*. 2 vols. Paris: Eugène Lacroix, 1864

Bautista Martín, José; Muñoz Bravo, Julio. *Las presas del Estrecho de Puentes*. Murcia: Confederación Hidrográfica del Segura, 1986

Betancourt, Agustín de. "Noticia del estado actual de los Caminos y Canales en España, causas de sus atrasos y defectos, y medios de remediarlos en adelante; dada al Excmo. Sr. D. Pedro Cevallos por D. Agustín de Betancourt: año de 1803". 4 vols. *Revista de Obras Públicas*, 1869, núm. 5, pp. 54-58; núm. 6, pp. 68-71; núm. 10, pp. 115-116, núm. 13, pp. 156-158;

Bueno Hernández, Francisco. "Reflexiones acerca de la necesidad y criterios de intervención en presas históricas". *Ingeniería y territorio*, 2003, núm. 62, pp. 54-63

Gil Olcina, Antonio. "Embalses Españoles de los siglos XVIII y XIX para riego". *Estudios Geográficos*, 1972, núm. 129, pp. 557-596

Gómez Ordóñez, José Luis; Grindlay Moreno, Alejandro Luis (ed.). *Agua, ingeniería y territorio: la transformación de la cuenca del río Segura por la Ingeniería Hidráulica*. Murcia: Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino; Confederación Hidrográfica del Segura, 2008

Granell Vicent, Jesús [et al.]. "La transformación de aliviaderos auxiliares en pozo en desagües de medio fondo de gran capacidad". *Revista de Obras Públicas*, 1997, núm. 3371, pp. 135-154

Juan-Aracil Segura, José. "Recrecimiento original de una presa". *Revista de Obras Públicas*, 1949, núm. 2813, pp. 443-446

Mañueco Pfeiffer, María Gabriela. "Recrecimiento y rehabilitación". En: Berga Casafont, Luis (ed.). *Las presas en España*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2008, pp. 325-340

Morales Hortelano, Asunción; Casas Gómez, Antonio de las. "Presas y patrimonio: situación legal y práctica". *Ingeniería y territorio*, 2003, núm. 62, pp. 64-71

Muñoz Bravo, Julio. "Agustín de Betancourt en Lorca". En: Centro de Estudios Históricos de Obras Públicas y Urbanismo (ed.). *Betancourt: los inicios de la ingeniería moderna en Europa*. Catálogo de exposición. Madrid: Ministerio de Obras Públicas, Transporte y Medio Ambiente; Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 1996

Muñoz Bravo, Julio. "De la rotura del pantano de Puentes a su reedificación". En: Gil Olcina, Antonio; Morales Gil, Alfredo (ed.). *Hitos históricos de los regadíos españoles*. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, 1992, pp. 203-320

Navascués Palacio, Pedro. "La creación de la Escuela de Arquitectura de Madrid". En: *Madrid y sus arquitectos: 150 años de la escuela de arquitectura*. Madrid: Comunidad de Madrid, Dirección General de Patrimonio Cultural, Consejería de Educación y Cultura, 1996, pp. 23-34

Rubín de Célix Caballero, Moisés; Lázaro Martín, Isidro; García Martín, María. *La presa de la verdeja: una presa representativa de principios de siglo rescatada de las aguas del embalse del Castro de las Cogotas*. En: *Actas I Congreso Nacional de Historia de las Presas*. Mérida, 8 a 11 de noviembre de 2000. Mérida: Diputación de Badajoz; Sociedad Española de Presas y Embalses, 2002

Saldaña Arce, Diego; Barco Herrera, Ana B. "Sobre el recrecido de las presas de mampostería españolas". En: *Actas V Congreso Nacional de Historia de la Construcción*. Burgos, 7-9 de junio de 2007. Madrid: Instituto Juan de Herrera; SEDHC; CICCIP, CEHOPU, 2007, pp. 803-814

Yagüe Córdova, Jesús. "La seguridad de presas en España". En: Berga Casafont, Luis (ed.). *Las presas en España*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2008, pp. 77-86

MARES DE INTERIOR

LA ALMENDRA

Arteaga Serrano, Daniel; Malmcrona, Kennet. "Inversión en infraestructura hidráulica: presas". En: *VII Jornadas Españolas de Presas*. Zaragoza, 29-31 de mayo de 2002. Vol. 4. Zaragoza: Comité Nacional Español de Grandes Presas, 2002, pp. 55-65

Berga Casafont, Luis. "Las presas en España". En: Berga Casafont, Luis (ed.). *Las presas en España*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2008, pp. 19-40

Bestué, David. *Realismo*. Catálogo de exposición en La Capella, Barcelona, 27 de mayo - 5 de julio de 2015. Barcelona: Institut de Cultura de l'Ajuntament de Barcelona, Folch Studio, 2015

Buckley, Craig. "Ibon Aranberri: obra pública". *Culturas La Vanguardia*, 6 de junio de 2007, núm. 259, pp. 3-4

Buil Sanz, Juan Manuel; Gil García, Arturo. "Hidroelectricidad". En: Berga Casafont, Luis (ed.). *Las presas en España*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2008, pp. 159-174

Chapa Imaz, Álvaro. *La construcción de los saltos del Duero, 1903-1970: historia de una epopeya colectiva*. Pamplona: Ediciones Universidad de Navarra, 1999

Chapa Imaz, Álvaro. *Ecós de un pasado*. 4 vols. Bilbao: Iberdrola, 1996

Díaz Morlán, Pablo. "La escuela del Duero". En: Iberdrola (ed.). *Luces del Duero 1900-1970: aprovechamientos hidroeléctricos de la cuenca hidrográfica del río Duero*. Catálogo de exposición. Bilbao: Fundación Iberdrola, 2009, pp. 9-18

Duelo Topete, Carlos. "Presa de Almendra: puesta en obra de hormigón". *Revista de Obras Públicas*, 1967, núm. 3028, pp. 933-941

Estévez Torreblanca, Marina. "Los pueblos del agua". *Revista entrelíneas*, 2012, núm. 24, pp. 54-59

Galíndez, Ángel; Guinea, Pedro. "Presa de Almendra: proyecto". *Revista de Obras Públicas*, 1967, núm. 3028, pp. 701-716

García de Oteyza, Luís; Martín Lobo, Manuel (ed.). *El Plan de Badajoz: Instituto Nacional de Industria*. Madrid: Instituto Nacional de Industria, 1958

García Pérez, Juan Alberto. "Usos recreativos". En: Berga Casafont, Luis (ed.). *Las presas en España*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2008, pp. 177-187

Girón Caro, Fernando. "Regadíos". En: Berga Casafont, Luis (ed.). *Las presas en España*. Madrid: Colegio de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos, 2008, pp. 145-157

Gómez Pérez, María Pilar. *Agua y Canal: reserva de vida*. Madrid: Canal de Isabel II Gestión, 2014

Guedan Gallar, Gabino. "Presa de Almendra: instalaciones, elaboración del hormigón". *Revista de Obras Públicas*, 1967, núm. 3028, pp. 925-931

Iberdrola (ed.). *Sistema Duero*. Iberdrola: Zamora, 1996

Iberduero (ed.). *Los grandes sistemas hidroeléctricos*. Bilbao: Iberduero, 1984

Iberduero (ed.). *Iberduero 1944-1969*. Bilbao: Iberduero, 1970

Iberduero (ed.). *Salto de Villarino*. Bilbao: Iberduero, 1970

Jaio, Miren. *Ibon Aranberri: Organigrama*. Programa de mano de exposición, Fundació Antoni Tàpies, Barcelona, 28 de enero a 15 de mayo de 2011. Barcelona: Fundació Antoni Tàpies, 2011

- Llamazares, Julio. *Distintas formas de mirar el agua*. Madrid: Alfaguara, 2015
- Martínez Artola, Pedro. "Aplicación de las nuevas técnicas de bombeo al proyecto del salto de Villarino en el río Tormes (Salamanca)". *Revista de Obras Públicas*, 1964, núm. 2988, pp. 363-370
- Moncada, Jesús. *Camí de Sirga*. Barcelona: La Magrana, 1988
- Muriel Hernández, Manuel; Chapa Imaz, Álvaro. *Cien años de historia de Iberdrola*. Vol 1: *Los hombres*. Vol. 2: *Los hechos*. Bilbao: Iberdrola, 2002
- Regàs, Rosa. "Memoria, identidad, belleza". *El Mundo*, 2 de diciembre de 2013
- Sáenz de Oíza, José. "Los embalses y los traslados de población". *Revista Entrelíneas*, 2012, núm. 24
- Viñas, Verónica. "La primera visión que tuve de mi pueblo fue el cadáver de mi pueblo". Entrevista a Julio Llamazares. *Diario de León*, 20 de febrero de 2015



Agradecimientos

Archivos consultados

Archivo de la Corona de Aragón, Barcelona
Archivo Fotográfico de Iberdrola, Bilbao
Archivo General de la Administración, Alcalá de Henares
Archivo General del Instituto del Patrimonio Cultural de España, Madrid
Archivo General del Ministerio de Fomento, Madrid
Archivo Histórico de Ricobayo, Iberdrola, Muelas del Pan
Archivo Histórico Nacional, Madrid
Archivo Histórico Provincial de Málaga, Málaga
Archivo Instituto Andaluz del Patrimonio Histórico, Sevilla
Archivo Municipal de Lorca, Lorca
Arxiu Nacional de Catalunya, Sant Cugat del Vallès
Biblioteca Nacional de España, Madrid
Centro de documentación del Centro de Estudios de Obra Pública y Urbanismo
Filmoteca de Andalucía, Córdoba
Fondo Histórico de Endesa, Barcelona
Fundación Juanelo Turriano

Cesión de imágenes

archivos consultados
Javi Freitas
Paco Gómez/NOPHOTO
Alfonso González Vespa

Diseño gráfico

Xeixa Rosa

Tratamiento de imágenes

Adrià Masó

Anna Vila
Rubén Páez
Habitat, grup de recerca UPC
Roger Sauquet
Toni Vidal
Gemma Vila
Marta Collell
Ignasi Riera, Anna Riera y Arnau Vergés
Anna Matas
José Antonio Fayos
Glòria Ramoneda y Anna Viñas
Ton Salvadó
Iñaki Alday y Margarita Jover
Francesc Muñoz

